

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mate Sinovčić

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Usporedba NEDC i WLTP ispitnih ciklusa

Mentor:

Doc. dr. sc. Goran Šagi, dipl. ing.

Student:

Mate Sinovčić

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru Doc. dr. sc. Goran Šagiju na ukazanoj pomoći i savjetima.

Mate Sinovčić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodogradnja i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Mate Sinovčić** Mat. br.: 0035195534

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Usporedba NEDC i WLTC ispitnih ciklusa**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Comparison of NEDC and WLTC test cycles**

Opis zadatka:

Od rujna 2017. godine, emisije štetnih tvari, emisija CO₂ i potrošnja goriva osobnih vozila određuju se prema WLTC (*Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle*) ispitnom ciklusu. Ranije se koristio NEDC (*New European Driving Cycle*) ispitni ciklus. Zbog razlike u dinamici vožnje i uvjeta ispitivanja u samim ispitnim ciklusima za isto vozilo ispitano prema navedenim ciklusima razlikuju se izmjerene vrijednosti emisija štetnih tvari i CO₂ te potrošnje goriva.

U okviru završnog rada potrebno je:

- Objasniti način određivanja emisija štetnih tvari, emisije CO₂ i potrošnje goriva osobnih vozila prema NEDC i WLTC ispitnim ciklusima, uz navođenje razlika.
- Na osnovu dostupne literature prikazati rezultate mjerenja emisija i potrošnje goriva prema NEDC i WLTC ispitnim ciklusima i komentirati trendove koji se mogu uočiti u rezultatima.
- U odgovarajućem programskom paketu izraditi NEDC i WLTP ispitni ciklus, prikazati dijagramima brzinu i ubrzanje vozila, prijeđeni put, prosječnu brzinu i promjenu otpora vožnje tijekom ciklusa.
- Izračunati potrošnju goriva i emisiju CO₂ prema oba ispitna ciklusa i međusobno usporediti izračunate vrijednosti.
- Prikazati utjecaj promjene parametara vozila (prijenosni omjeri u mjenjaču, masa vozila, faktor otpora zraka, faktor otpora kotrljanja i sl.) na emisiju CO₂.

Pri izradi se treba pridržavati uobičajenih pravila za izradu završnog rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
30. studenog 2017.

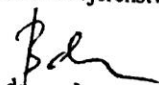
Rok predaje rada:
1. rok: 23. veljače 2018.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:


Doc. dr. sc. Goran Šagi

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
1.1. NEDC(eng. <i>New European Driving Cycle</i>).....	2
1.2. WLTP (eng. <i>Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure</i>).....	3
1.3. Usporedba NEDC i WLTP ispitnih ciklusa	6
2. PRORAČUN	14
2.1. Ulazni podaci	14
2.2. Modifikacija ciklusa.....	19
2.3. Odabir stupnja prijenosa	19
2.3.1. Potrebni podaci	19
2.3.2. Izračun potrebne snage.....	25
2.3.3. Određivanje brzine vrtnje motora	26
2.3.4. Odabir mogućih stupnjeva prijenosa vezano za brzinu vrtnje motora.....	26
2.3.5. Izračun dostupne snage	27
2.3.6. Određivanje mogućih stupnjeva prijenosa.....	30
2.3.7. Ispravke i/ili modifikacije korištenja stupnjeva prijenosa	30
2.3.8. Potrošnja goriva	32
2.3.9. Emisija CO ₂	35
3. PRIKAZ REZULTATA	36
3.1. Rezultati WLTP ispitnog ciklusa	36
3.2. Rezultati usporedbe WLTP i NEDC ispitnog ciklusa.....	39
ZAKLJUČAK	50
LITERATURA.....	51
PRILOZI.....	52

POPIS SLIKA

Slika 1.	Mjerenje emisija vozila	1
Slika 2.	NEDC ispitni ciklus.....	2
Slika 3.	Elementarni ECE-15 ciklus [2]	3
Slika 4.	WLTP ispitni ciklus za klasu vozila 3b.....	6
Slika 5.	Razlika profila brzine dvaju ciklusa.....	8
Slika 6.	Rezultati ispitivanja 1 [7]	11
Slika 7.	Rezultati ispitivanja 2 [7]	11
Slika 8.	Rezultati ispitivanja 3 [7]	12
Slika 9.	Rezultati ispitivanja 4 [7]	12
Slika 10.	Rezultati ispitivanja 5 [7]	13
Slika 11.	Vanjska karakteristika motora [9]	16
Slika 12.	Dijagram snage i brzine vozila kroz stupnjeve prijenosa.....	24
Slika 13.	Dijagramski prikaz izračuna $P_{wot}(n_{i,j})$	28
Slika 14.	Dijagram za određivanje faktora rotirajućih masa	29
Slika 15.	Prostorni prikaz topografskog dijagrama specifične efektivne potrošnje goriva ..	33
Slika 16.	Otpori vožnje u 1. fazi WLTP ispitnog ciklusa.....	36
Slika 17.	Otpori vožnje u 2. fazi WLTP ispitnog ciklusa.....	36
Slika 18.	Otpori vožnje u 3. fazi WLTP ispitnog ciklusa.....	37
Slika 19.	Otpori vožnje u 4. fazi WLTP ispitnog ciklusa.....	37
Slika 20.	Kumulativ energija otpora vožnje	38
Slika 21.	Prijeđeni put u WLTP ispitnom ciklusu	38
Slika 22.	Radne točke WLTP ispitnog ciklusa	39
Slika 23.	Stupanj prijenosa kod WLTP i NEDC ispitnog ciklusa	40
Slika 24.	Otpor kotrljanja kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa	40
Slika 25.	Otpor zraka kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa.....	41
Slika 26.	Otpor ubrzanja kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa.....	41
Slika 27.	Vučna sile kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa.....	42
Slika 28.	Ubrzanje u ovisnosti o vremenu kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa.....	42
Slika 29.	Efektivni moment motora kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa	43
Slika 30.	Brzina vrtnje motora kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa	43
Slika 31.	Ubrzanje u ovisnosti o brzini vozila kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa.....	44
Slika 32.	Prikaz radnih točaka WLTP i NEDC ispitnih ciklusa	44
Slika 33.	Prikaz rezultata masene potrošnje goriva WLTP i NEDC ispitnih ciklusa.....	45
Slika 34.	Prikaz rezultata potrošnje goriva po fazama WLTP i NEDC ispitnih ciklusa	45
Slika 35.	Prikaz rezultata emisije CO ₂ po fazama WLTP i NEDC ispitnih ciklusa.....	46
Slika 36.	Utjecaj promjene faktora otpora zraka na emisiju CO ₂	46
Slika 37.	Utjecaj promjene mase vozila na emisiju CO ₂	47
Slika 38.	Utjecaj promjene faktora otpora kotrljanja na emisiju CO ₂	47
Slika 39.	Utjecaj promjene prijenosnog omjera osovine redukcije na emisiju CO ₂	48
Slika 40.	Utjecaj promjene prijenosnih omjera stupnjeva prijenosa na emisiju CO ₂	49
Slika 41.	Kombinirani dijagram	49

POPIS TABLICA

Tablica 1. Klase WLTP ispitnih ciklusa [3]	4
Tablica 2. WLTP ciklus za vozila klase 3 [3]	5
Tablica 3. Glavne razlike dvaju ciklusa [4].....	7
Tablica 4. Usporedba WLTP i NEDC ispitnog ciklusa po fazama [5]	9
Tablica 5. Veza između WLTP i NEDC CO ₂ emisije [6]	10
Tablica 6. Testirana vozila [7].....	10
Tablica 7. Podaci o vozilu [8]	14
Tablica 8. Podaci o prijenosniku [8]	15
Tablica 9. Podaci o motoru [8]	15
Tablica 10. Podaci momenta i specifične potrošnje goriva pri brzinama vrtnje motora.....	17
Tablica 11. Prikaz brzina vožnje u ispitnim cilusu [9].....	18
Tablica 12. Prikaz izračuna snage	22
Tablica 13. Prikaz izračuna brzina vozila u stupnjevima prijenosa	23
Tablica 14. Prikaz izračuna $P_{required,j}$ i ubrzanja a_j	25
Tablica 15. Prikaz izračuna brzine vrtnje motora.....	26
Tablica 16. Omjer ukupnog prijenosnog omjera i dinamičkog radijusa za pojedini stupanj prijenosa	29
Tablica 17. Očitane vrijednosti faktora rotirajućih masa	30
Tablica 18. Izračun momenta motora	32
Tablica 19. Koeficijenti polinoma veličina m i b [10]	34
Tablica 20. Koeficijenti polinoma momenta motora i specifične efektivne potrošnje goriva [10]	35

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
a_j	m/s^2	ubrzanje vozila
A	m^2	čeaona površina vozila
ASM	-	dodatna eksponencijalna sigurnosna margina
$\mathbf{b}(n_i)$	-	veličina b u ovisnosti brzine vrtnje motora
c_w	-	koeficijent otpora zraka
f_0	N	koeficijent cestovnog otpora
f_1	$\text{N}/(\text{km/h})$	koeficijent cestovnog otpora
f_2	$\text{N}/(\text{km/h})^2$	koeficijent cestovnog otpora
f_{kot}	-	faktor otpora kotrljanja
F_{kot}	N	otpor kotrljanja
F_z	N	otpor zraka
$F_{a,i,j}$	N	otpor ubrzanja
$F_{v,j}$	N	vučna sila vozila pri brzini vožnje j
g_{CO_2}	gCO_2/km	emisija CO_2
$g_e(M_e, n_i)$	g/kWh	specifična efektivna potrošnja goriva za zadanu vrijednost momenta motora i brzinu vrtnje motora
$g_{e,M_{e,max}}(n_i)$	g/kWh	specifična efektivna potrošnja goriva kod punog opterećenja motora
G_{100}	$\text{l}/100\text{km}$	potrošnja goriva
H_R	m	visina profila neopterećene gume
H/W	-	odnos visine profila i širine pneumatika
i	-	stupanj prijenosa
j	km/h	brzina u sekundi ispitnog ciklusa
kr	-	faktor koji uzima u obzir inercijski otpor pogonskog sklopa tijekom ubrzavanja
$k_{m,i}$	-	faktor rotirajućih masa
m	kg	masa vozila
$m_{G,i}$	g/s	masena potrošnja goriva
$m(n_i)$	-	veličina m u ovisnosti brzine vrtnje motora

$\frac{m_{CO_2}}{m_G}$	-	odnos mase CO ₂ nastalog izgaranjem i određene mase goriva
M_k	Nm	maksimalni moment motora pri brzini vrtnje k
M_e	Nm	efektivni moment motora
$M_{e,max}(n_i)$	Nm	moment motora kod punog opterećenja motora
n_g	-	broj stupnjeva prijenosa za vožnju prema naprijed
n_{gear}	-	oznaka stupnja prijenosa
ng_{vmax}	-	stupanj prijenosa u kojem je postignuta maksimalna brzina vozila
n_i	min ⁻¹	brzina vrtnje motora
n_{idle}	min ⁻¹	brzina vrtnje motora u praznom hodu
$n_{i,j}$	min ⁻¹	brzina vrtnje motora u stupnju prijenosa i i brzini vozila j
n_{max}	min ⁻¹	maksimalna brzina vrtnje motora
n_{min_drive}	min ⁻¹	minimalna brzina motora kad se vozilo kreće
n_{rated}	min ⁻¹	nazivni broj okretaja motora pri kojoj motor razvija najveću snagu
$(n/v)_i$	min ⁻¹ /(km/h)	omjer brzine vrtnje motora i brzine vozila
p_z	Pa	dinamički tlak zraka
P	W	snaga vozila
$P_{available_i,j}$	kW	raspoloživa snaga za svaki stupanj prijenosa i i brzine vozila j
$P_{max}(n_{i,j})$	kW	maksimalna snaga pri $n_{i,j}$ u uvjetima punog opterećenja iz krivulje snage pod punim opterećenjem
P_{rated}	kW	najveća nazivna snaga motora prema podacima proizvođača
$P_{required}$	kW	potrebna snaga za savladavanje otpora vožnje
$P_{required,j}$	kW	snaga potrebna za savladavanje otpora vožnje i za ubrzavanje vozila za svaku sekundu j
$P_v(n_{i,j})$	kW	snaga otpora vožnje pri $n_{i,j}$
$P_{wot}(n)$	kW	krivulja snage pod punim opterećenjem u rasponu brzine vrtnje motora
$P_{wot}(n_{i,j})$	kW	snaga dostupna na $n_{i,j}$ u uvjetima punog opterećenja iz krivulje snage pod punim opterećenjem

PMR	W/kg	odnos maksimalne snage i mase vozila
r	m	radijus neopterećenog kotača
r_{axle}	-	prijenosni omjer osovinske redukcije
r_d	m	dinamički radijus kotača
r_i	-	prijenosni omjer u stupnju prijenosa i
R	m	radijus naplatka
S_{WLTP}	km	prijeđeni put
SM	%	sigurnosna margina
TM	kg	ispitna masa vozila
U_{dyn}	mm	dinamički opseg kotrljanja pneumatika pogonske osovine
v_i	km/h	brzina vozila
V_H	l	radni volumen motora
$V_{Gh,prazni\ hod}$	l/h	volumna potrošnja goriva u praznom hodu
W	mm	širina pneumatika
ρ_G	kg/m ³	gustoća goriva
ρ_{zr}	kg/m ³	gustoća zraka
ω_k	s ⁻¹	kutna brzina motora pri brzini vrtnje k
η_m	-	mehanički stupanj korisnosti prijenosnika snage

SAŽETAK

WLTP (eng. *The Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure*) je ispitni ciklus za određivanje potrošnje goriva i emisija osobnih (kategorija M1) i lakih gospodarskih vozila (kategorija N1). Zamjenjuje od rujna 2017. godine do tada standardni NEDC ispitni ciklus (uvođenjem Euro 6c razine emisija štetnih tvari). Cilj ovoga rada je pokazati razlike između dva navedena ispitna ciklusa. U radu su najprije opisani ispitni ciklusi i prikazani karakteristični rezultati koji se za cikluse mogu pronaći u literaturi. Nakon toga slijedi prikaz proračuna WLTP ispitnog ciklusa pri čemu je detaljno prikazan način određivanja stupnjeva prijenosa u svakom trenutku ispitnog ciklusa, što je i najbitnija razlika između NEDC i WLTP ispitnih ciklusa. Na kraju je proveden proračun za isto vozilo (motor) za oba ispitna ciklusa. Na temelju literature, ali i zbog većih brzina i dinamičnije vožnje očekuje se veća potrošnja goriva kao i emisija CO₂ kod WLTP ispitnog ciklusa.

Ključne riječi: NEDC, WLTP, ispitni ciklus

SUMMARY

WLTP (*The Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure*) defines test cycle for determining the levels of fuel consumption and emissions from passenger cars (M1 category) and light commercial vans (N1 category). It has replaced the standard NEDC test cycle since September 2017 (by implementing Euro 6 level of pollution emission). The purpose of this work is to show differences between the two mentioned procedures. Test cycles are described and characteristic results are shown, both that can be found in the literature. After that, the WLTP test procedure calculation is followed by detailing the method of determining the transmission gear ratio at any point in the test cycle, which is also the most important difference between the NEDC and WLTP test cycles. Based on the literature, because of the higher speed and more dynamic driving, higher fuel consumption as well as CO₂ emission are expected in the WLTP test procedure.

Key words: WLTP, NEDC, test cycle

1. UVOD

Veliki raspon atmosferskih zagađivača (štetnih tvari) je emitiran od strane cestovnih vozila kao rezultat izgaranja i drugih procesa. Emisija ugljik monoksida (CO), hlapljivih organskih spojeva, dušikovih oksida (NO_x) i krutih čestica je regulirana EU direktivama koje te emisije ograničavaju na količinu prihvatljivu za život ljudi i okoliša. Također, u ispušnim plinovima cestovnih vozila se nalazi i mnogo drugih zagađivača okoliša.

U Europskoj Uniji potreba provođenja testova za određivanje količine štetnih tvari u ispušnim plinovima cestovnih vozila je određena zakonom.

U svijetu postoji stotine, ako ne i tisuće, različitih ispitnih ciklusa koji se koriste za mjerenje emisija ispušnih plinova vozila. Većina testiranja se provodi u kontroliranim standardiziranim laboratorijskim uvjetima. Vozila se nalaze u laboratoriju, a pogonski kotači su pozicionirani tako da su u kontaktu s valjcima. Valjci se mogu prilagoditi tako da su u mogućnosti simulirati otpore vožnje vozila.

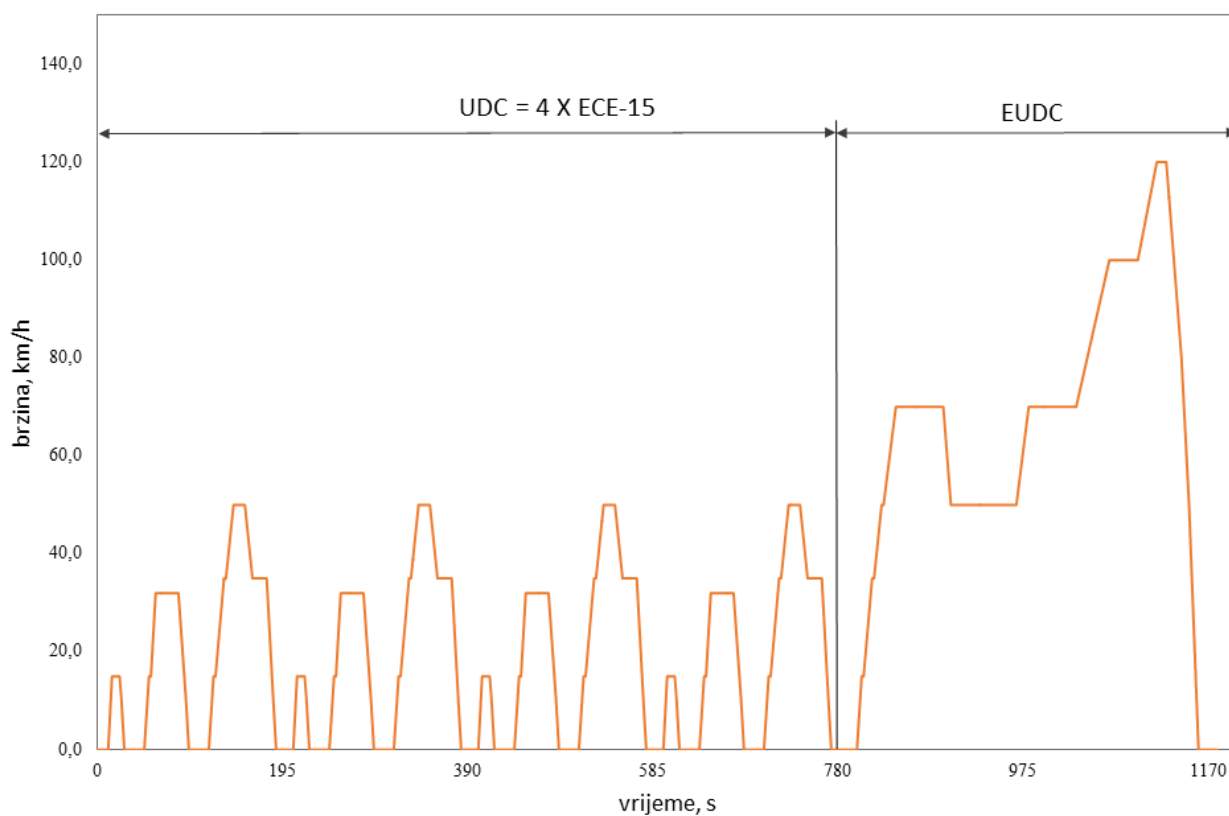
Ispitni ciklus se sastoji od fiksnog rasporeda operacija vozila što omogućuje da se testovi emisija ispušnih plinova mogu provoditi u ponovljivim uvjetima. Ispitni ciklusi su definirani u smislu brzine vozila i odabiru stupnja prijenosa kao funkcija vremena. Obučeni vozač je zaposlen kako bi pratio i osigurao da ispitni ciklus bude što bliži definiranom ciklusu uz dopuštene tolerancije [1].



Slika 1. Mjerenje emisija vozila

1.1.NEDC(eng. *New European Driving Cycle*)

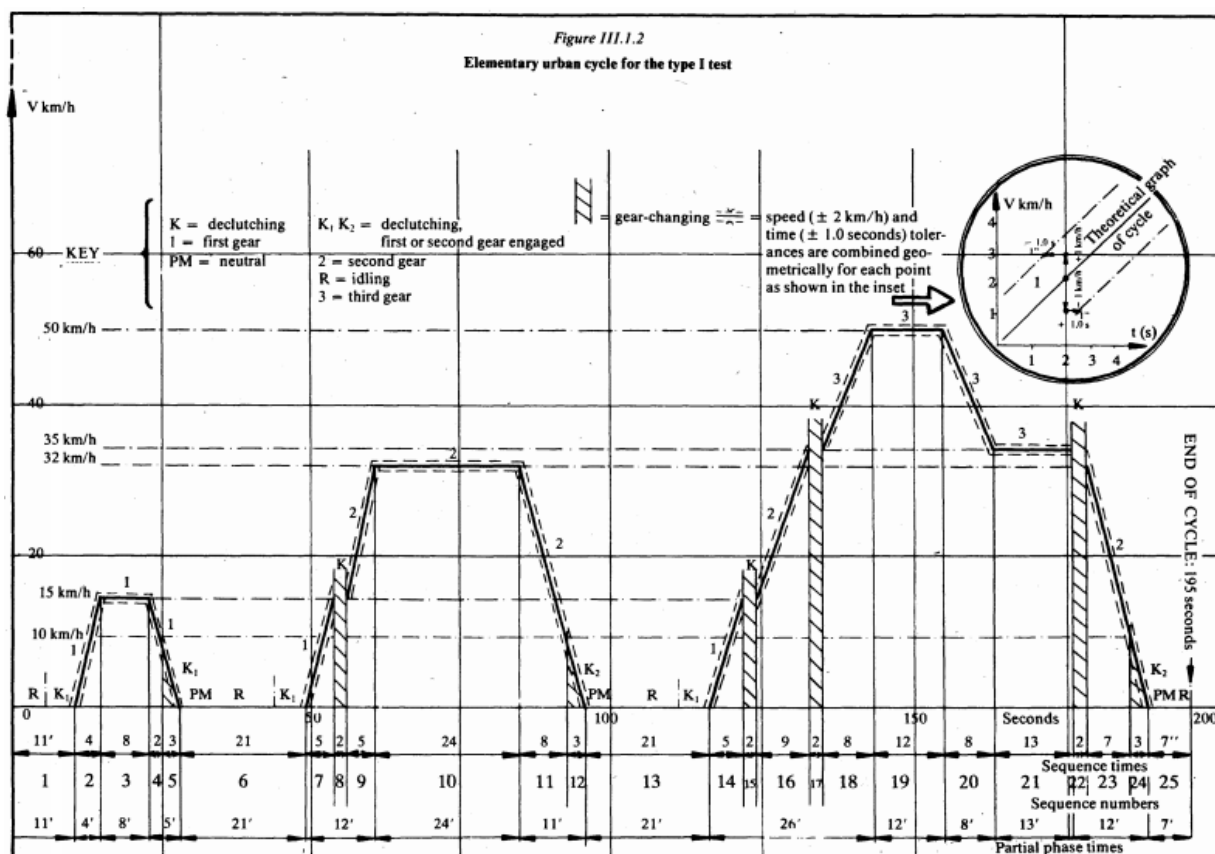
NEDC ispitni ciklus sastoji se od dva dijela. Prvi dio je UDC (eng. *urban driving cycle*), a drugi dio je EUDC (eng. *extra-urban driving cycle*). Ukupno trajanje NEDC ispitnog ciklusa je 1180 s, ukupna prijeđena udaljenost 11,007 km, maksimalna brzina 120 km/h sa prosječnom brzinom



od 33,58 km/h.

Slika 2. NEDC ispitni ciklus

UDC je ciklus koji predstavlja gradsku vožnju, sastoji od četiri elementarna ECE-15 ciklusa. Svaki elementarni gradski ispitni ciklus se sastoji od 25 operacija, traje 195 s, ukupna prijeđena udaljenost je 1,013 km, najveća postignuta brzina je 50,07 km/h s prosječnom brzinom 18,4 km/h.



Slika 3. Elementarni ECE-15 ciklus [2]

Na slici 3. mogu se vidjeti dozvoljene tolerancije brzine vožnje od ± 2 km/h i vremena od ± 1 s pri vožnji u ispitnom ciklusu.

EUDC je ciklus koji predstavlja vožnju otvorenom cestom, sastoji se od 21 operacije, traje 400 s, ukupna prijeđena udaljenost je 6,955 km, najveća postignuta brzina je 120 km/h s prosječnom brzinom od 62,6 km/h.

1.2.WLTP (eng. *Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure*)

WLTP je procedura za određivanje potrošnje goriva i emisije osobnih i lakih gospodarskih vozila. Zamjenjuje do sada standardni NEDC ispitni ciklus od rujna 2017. Razvijena je s ciljem korištenja na globalnoj razini kako bi se zagađivači (štetne tvari) i CO₂ emisije te potrošnja goriva mogli uspoređivati diljem svijeta.

WLTP procedura uključuje nekoliko WLTP ispitnih ciklusa primjenjivih na različite kategorije vozila ovisno o odnosu snage i mase vozila (PMR – eng. *power to mass ratio*). PMR parametar je definiran kao odnos snage (W) / mase (kg) gdje je masa definirana kao masa vozila sa svom

standardnom opremom, svim potrošnim tekućinama (ulja, rashladne tekućine), 90 % goriva u spremniku, ali bez opterećenja putnika i tereta.

Postoje tri vrste WLTP ispitnih ciklusa ovisno o tome u koju klasu vozilo spada prema omjeru snage i mase.

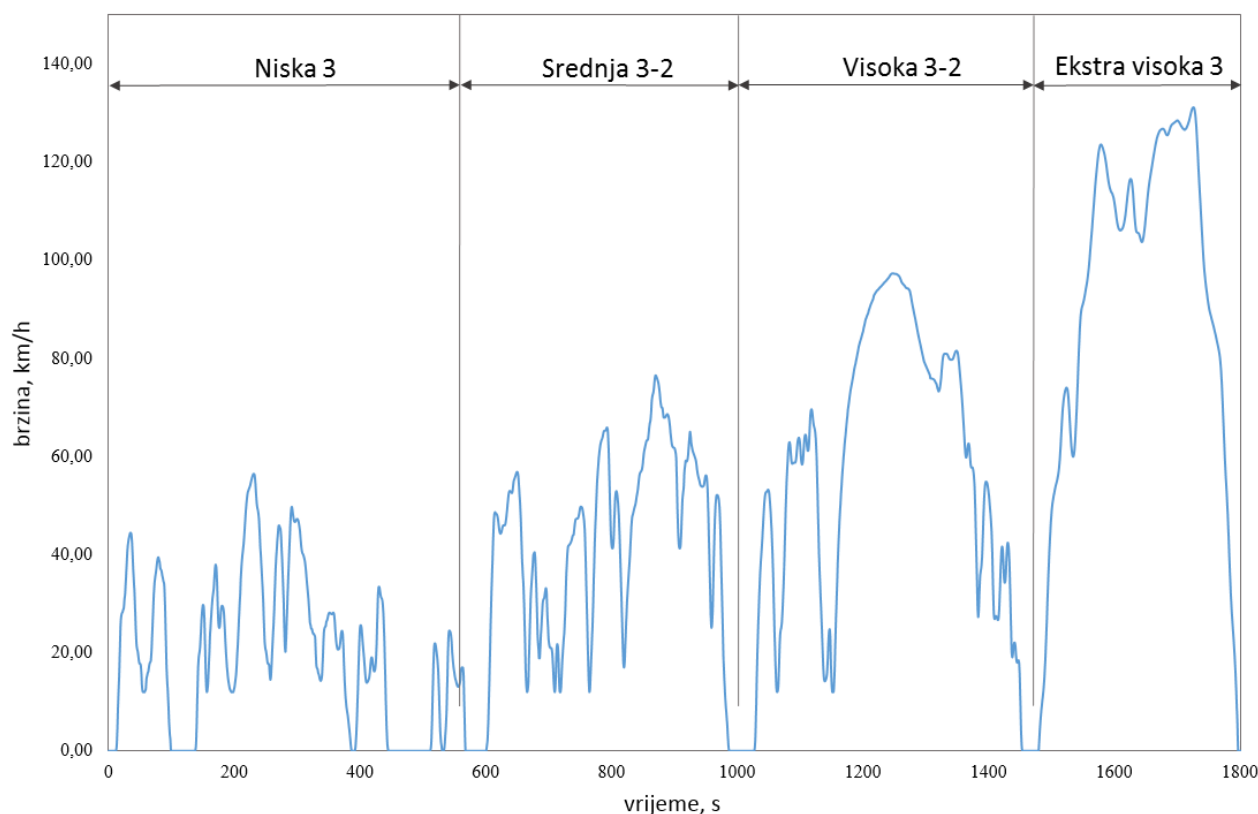
Tablica 1. Klase WLTP ispitnih ciklusa [3]

Kategorija	W/kg odnos	Najveća brzina [km/h]	Faze ciklusa
Klasa 3b	$W/kg > 34$	≥ 120	Niska 3 + Srednja 3-2 + Visoka 3-2 + Ekstra visoka 3
Klasa 3a		< 120	Niska 3 + Srednja 3-1 + Visoka 3-1 + Ekstra visoka 3
Klasa 2	$34 \geq W/kg > 22$	-	Niska 2 + Srednja 2 + Visoka 2 + Ekstra visoka 2
Klasa 1	$W/kg \leq 22$	-	Niska 1 + Srednja 1 + niska 1

Klasa 3 je podjeljena u dvije podklase prema maksimalnoj brzini: klasa 3a s maksimalnom brzinom manjom od 120 km/h i klasa 3b s maksimalnom brzinom jednakom ili većom od 120 km/h. Ispitni ciklus za vozila klase 3 se sastoji od 4 različita segmenta brzine vožnje (niske, srednje, visoke i ekstra visoke). S najvećim odnosom snage i mase, klasa 3 odgovara vozilima u Europi.

Tablica 2. WLTP ciklus za vozila klase 3 [3]

Faza	Ukupno trajanje	Trajanje faze stajanja	Udaljenost	Najveća brzina	Najmanje ubrzanje	Najveće ubrzanje
	<i>s</i>	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>km/h</i>	<i>m/s²</i>	<i>m/s²</i>
Klasa 3b						
Niska 3	589	156	3095	56,6	-1,47	1,47
Srednja 3-2	433	48	4756	76,6	-1,49	1,57
Visoka 3- 2	455	31	7162	97,4	-1,49	1,58
Ekstra visoka 3	323	7	8254	131,3	-1,21	1,03
Ukupno	1800	242	23266			
Klasa 3a						
Niska 3	589	156	3095	56,6	-1,47	1,47
Srednja 3-1	433	48	4721	76,6	-1,47	1,28
Visoka 3- 1	455	31	7124	97,4	-1,49	1,58
Ekstra visoka 3	323	7	8254	131,3	-1,21	1,03
Ukupno	1800	242	23194			



Slika 4. WLTP ispitni ciklus za klasu vozila 3b

1.3. Usporedba NEDC i WLTP ispitnih ciklusa

Uvjetovano razvijanjem tehnologije i promjenom uvjeta vožnje WLTP procedura za mjerenje potrošnje goriva i emisije ispušnih plinova razvijena je kako bi dobili preciznije rezultate mjerenja koji više odgovaraju realnim uvjetima vožnje od prijašnje NEDC ispitne metode. Glavni razlozi razvijanja nove procedure, odnosno prestanak korištenja stare NEDC procedure su:

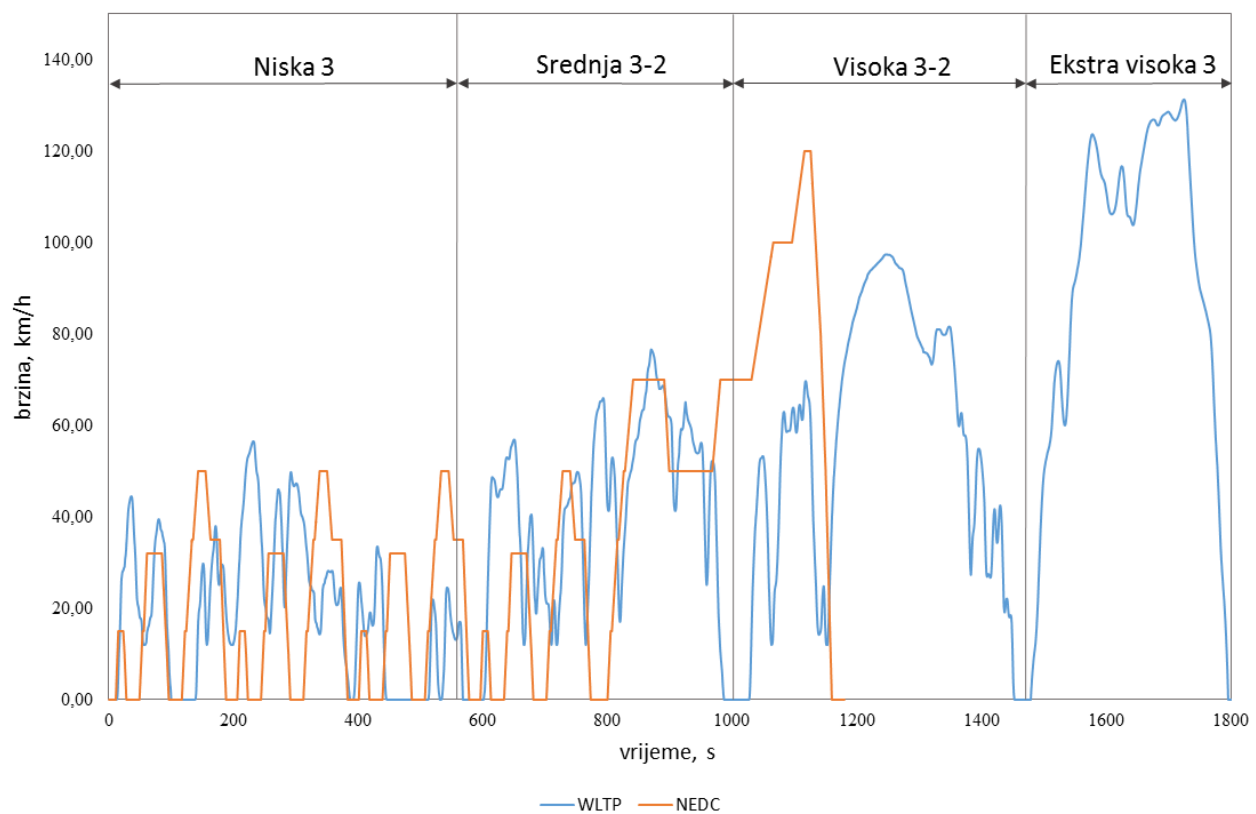
- profili vožnje koji se koriste ne odgovaraju realnim profilima vožnje,
- nedovoljno ubrzanje,
- previše faza stajanja,
- ne uključuje visoke brzine što postavlja prosječnu brzinu preniskom,
- točke mijenjanja stupnjeva prijenosa su određene tipom prijenosnika tako da su iste za sva vozila s ručnim prijenosnikom.

Uzevši to sve u obzir WLTP procedura donosi dinamičniju vožnju s većim brzinama vožnje kao i ubrzanjima, manje faza stajanja, dulje trajanje ciklusa te većom prijeđenom udaljenosti.

Tablica 3. Glavne razlike dvaju ciklusa [4]

	NEDC	WLTP
Ciklus	Jednostavan ciklus	Dinamičniji ciklus bliži realnoj vožnji
Trajanje ciklusa	20 min	30 min
Prijeđena udaljenost	11 km	23,26 km*
Faze vožnje	2 faze, 66 % gradske vožnje i 34 % vožnje otvorenom cestom	4 više dinamičnije faze, 52% gradske vožnje i 48% vožnje otvorenom cestom
Prosječna brzina	34 km/h	46,5 km/h*
Najveća brzina	120 km/h	131 km/h*
Mijenjanje stupnjeva prijenosa	Fiksne točke mijenjanja stupnjeva prijenosa	Različite točke mijenjanja stupnjeva prijenosa za svako vozilo
Temperatura testa	Mjerenja na 20 – 30 °C	Mjerenja na 23 °C, vrijednosti CO ₂ korigiranje na 14 °C

* - odnosi se samo za vozila klase 3b WLTP ispitnog ciklusa



Slika 5. Razlika profila brzine dvaju ciklusa

Tablica 4. Usporedba WLTP i NEDC ispitnog ciklusa po fazama [5]

	WLTP					NEDC		
Faza	1	2	3	4	ukupno	1	2	ukupno
Trajanje, s	589	433	455	323	1800	780	400	1180
Faza stajanja, s	156	48	31	7	242	240	38	278
Faza stajanja, %	26,5	11,1	6,8	2,2	13,4	30,77	9,55	23,6
Udaljenost, km	3,095	4,756	7,158	8,254	23,262	3,976	6,955	10,93
Najveća brzina, km/h	56,5	76,6	97,4	131,3		50,0	120,0	
Prosječna brzina sa stajanjima	25,7	44,5	60,8	94,0	53,8	25,93	69,36	43,1
Prosječna brzina bez stajanja	18,9	39,5	56,6	92,0	46,5	18,35	62,59	33,35
Najveće ubrzanje, m/s ²	1,5	1,6	1,6	1,0		1,042	0,833	
Prosječno ubrzanje, m/s ²	0,48	0,44	0,37	0,3		0,64	0,35	

Kod WLTP ispitnog ciklusa maksimalno ubrzanje je 53,6 % veće nego kod NEDC ispitnog ciklusa, prosječna brzina je 39,4 % veća, maksimalna brzina je 9,4 % veća te WLTP ispitni ciklus ima 1,76 puta manje zaustavljanja nego NEDC ispitni ciklus.

Tablica 5. Veza između WLTP i NEDC CO₂ emisije [6]

Light Commercial Vehicles	Ratio WLTP/NEDC
All ICEV	1.30
Gasoline	1.22
Diesel	1.31
LPG	1.16
Gas	1.36
HEV Gasoline	1.38
HEV Diesel	1.45
PHEV	1.00
BEV/FCV ²	1.21

U tablici 5. prikazani su rezultati mjerenja emisije CO₂ prema NEDC i WLTP ispitnim ciklusima, prikazani kao omjeri emisija za različite pogonske grupe.

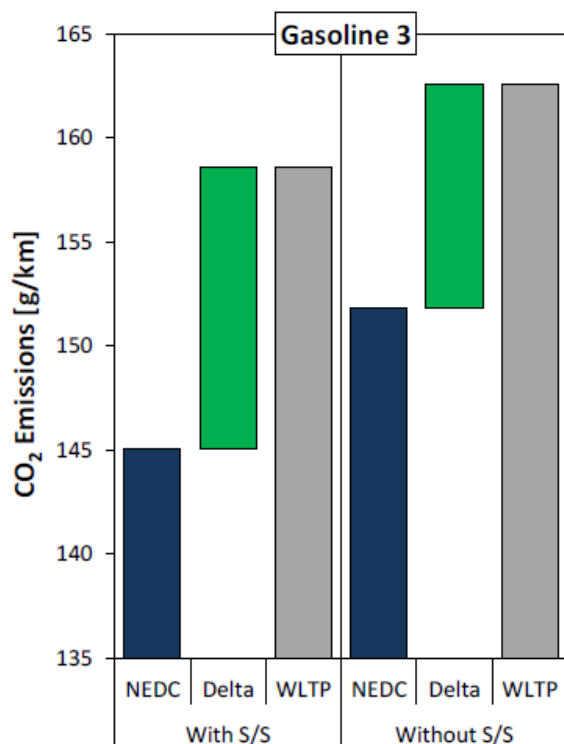
Može se primjetiti 22 % veću emisiju CO₂ kod Ottovih motora, 31 % veću emisiju kod Diesellovih motora, 16 % veću emisiju kod primjenjivosti LPG goriva.

Sve nadalje prikazane vrijednosti rezultata mjerenja prema [7] prikazani su za različita vozila kako je prikazano u tablici 6.

Tablica 6. Testirana vozila [7]

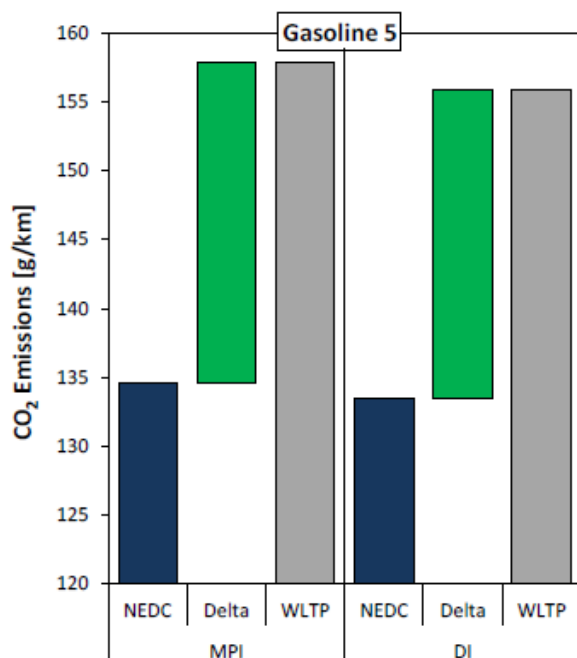
Vehicle	Transmission*	Turbo	Curb Mass [kg]	Displacement [cm ³]	Maximum Power [kW]
Diesel 1	MT5	Yes	1393	1248	70
Diesel 2	MT6	Yes	1465	1995	120
Diesel 3	MT6	Yes	1293	1560	82
Diesel 4	MT6	Yes	1601	1598	90
Gasoline 1	MT5	Yes	1102	1197	66
Gasoline 2	MT6	Yes	1290	1368	125
Gasoline 3	MT6	Yes	1450	1798	125
Gasoline 4	MT5	No	930	875	77
Gasoline 5	MT5	No	1025	1368	57

* MT: Manual Transmission



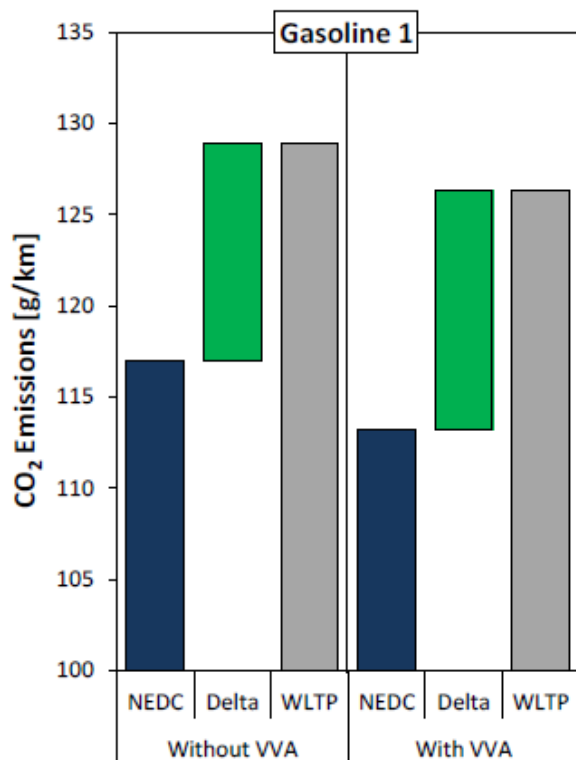
Usporedba emisije CO₂ s uključenim i isključenim Start/Stop (eng. *Start/Stop*) sustavom gdje se može vidjeti značajno veća emisija CO₂ sa isključenim Start/Stop sustavom.

Slika 6. Rezultati ispitivanja 1 [7]



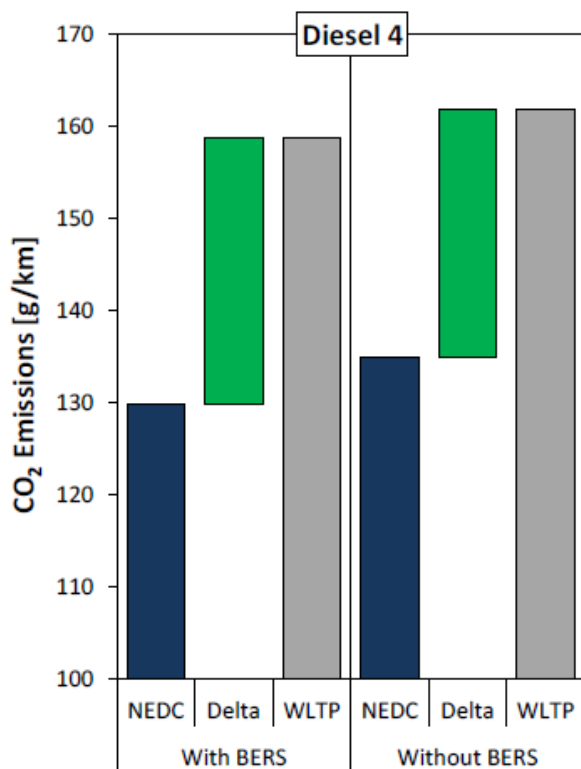
Usporedba emisije CO₂ sa sustavom direktnog ubrizgavanja goriva (eng. *Direct Injection*) i sustavom pojedinačnog ubrizgavanja goriva (eng. *Multi Point Injection*). Iz rezultata se može vidjeti nešto manja emisija sa primjenom sustava direktnog ubrizgavanja goriva.

Slika 7. Rezultati ispitivanja 2 [7]



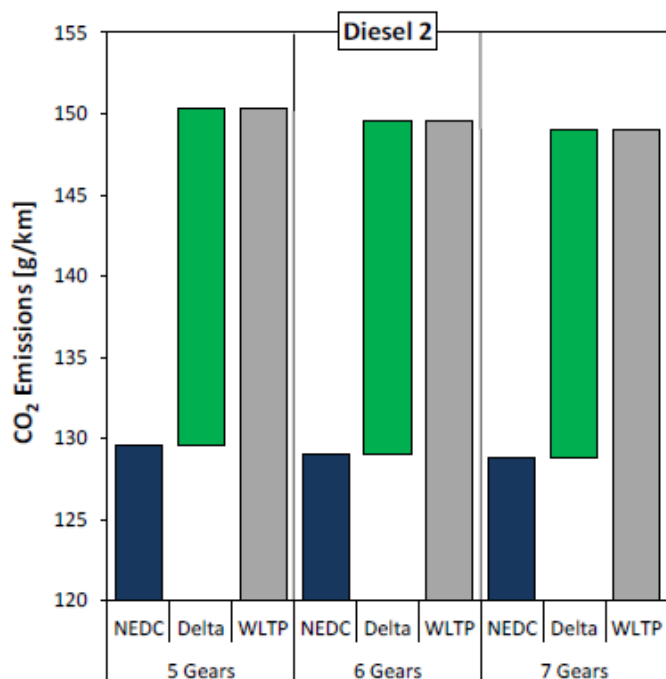
Usporedba emisije CO₂ s primjenom i bez primjene sustava promjenjivog pokretanja ventila (eng. *Variable Valve Actuation*). Iz rezultata se može vidjeti manja emisija sa primjenom sustava promjenjivog pokretanja ventila..

Slika 8. Rezultati ispitivanja 3 [7]



Usporedba emisije CO₂ sa primjenom i bez primjene sustava rekuperacije energije kočenja (eng. *Brake Energy Recuperation System*). Iz rezultata se može vidjeti manja emisija sa primjenom sustava rekuperacije energije kočenja .

Slika 9. Rezultatati ispitivanja 4 [7]



Prikaz utjecaja broja stupnjeva prijenosa na emisiju CO₂ gdje se može vidjeti neznatno manja emisija povećanjem stupnjeva prijenosa sa 5 na 7 stupnjeva.

Slika 10. Rezultati ispitivanja 5 [7]

Iz navedenih rezultata može se vidjeti da na emisiju CO₂, odnosno potrošnju goriva, mogu utjecati vrste pogonskih sustava i različite primjene tehnologija.

2. PRORAČUN

Sam proračun izveden je u programskom paketu Microsoft Excel te su prikazane samo korištene formule, a na kraju i rezultati. Proračun je izrađen prema Direktivi 2017/1151, otpori vožnje su izračunati prema materijalima predavanja iz kolegija Motori i vozila, podaci o vozilu i motoru iz [10] te izračun primjene stupnja prijenosa prema Global technical regulation No. 15, dopuna 2.

2.1. Ulazni podaci

Tablica 7. Podaci o vozilu [8]

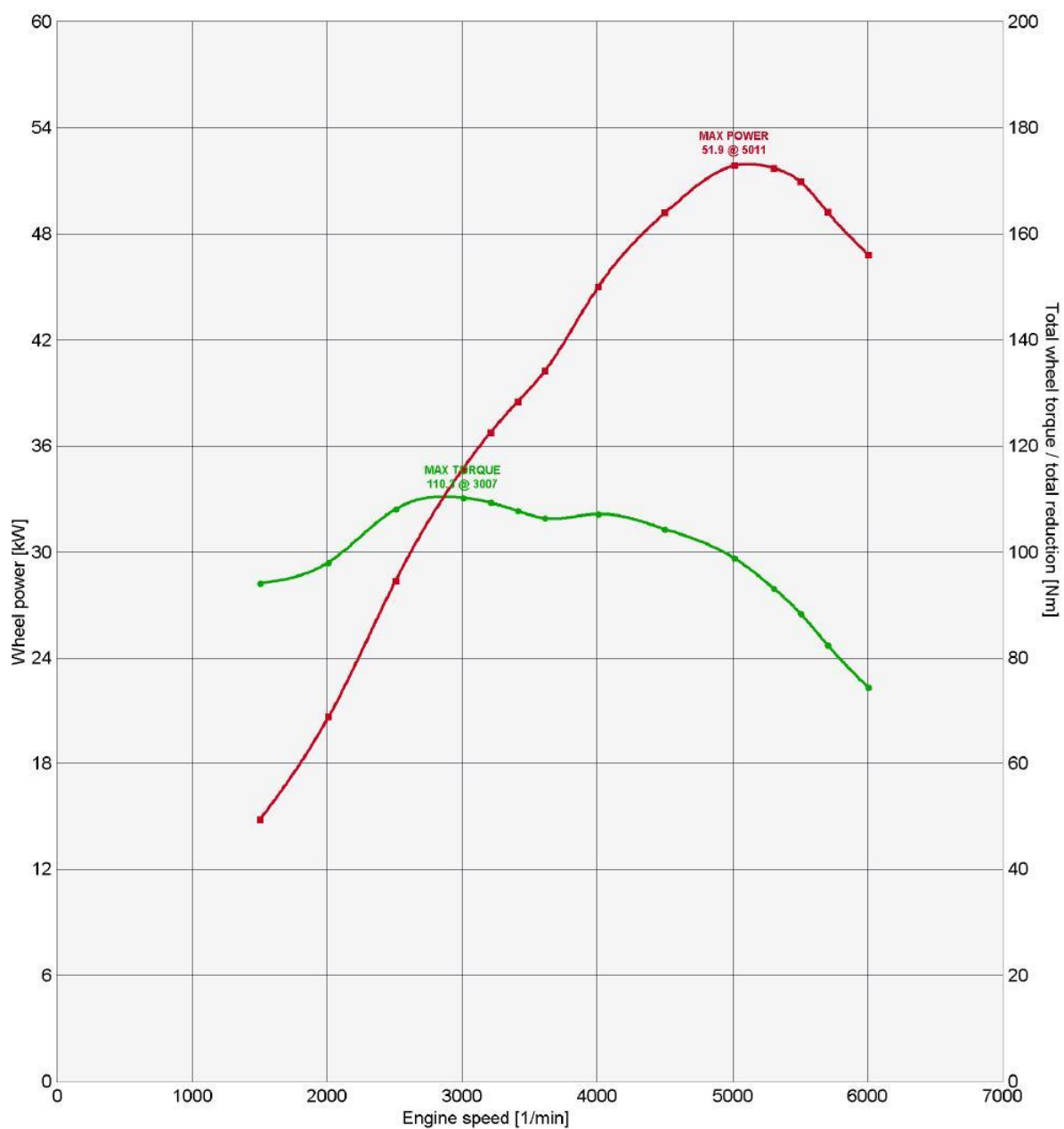
Proizvođač	Peugeot
Model	206 1,4 XS
Vrsta motora	TU3JP-KFX
Masa praznog vozila [kg]	950
Jedinstvena masa vozača [kg]	75
Jedinstvena masa tereta [kg]	25
Čeona površina vozila [m^2]	1,97
C_x	0,32
Oznaka guma	175/65 R14 82T
r_d [m]	0,29155
$f_{k,1}$	0,009
$f_{k,2}$	0,002
$f_{k,3}$	0,0003

Tablica 8. Podaci o prijenosniku [8]

Vrsta prijenosnika	MA 5/N 20CE45
Prijenosni omjer u 1. stupnju prijenosa	$(41/12) = 3,4167$
Prijenosni omjer u 2. stupnju prijenosa	$(38/21) = 1,8095$
Prijenosni omjer u 3. stupnju prijenosa	$(37/29) = 1,2759$
Prijenosni omjer u 4. stupnju prijenosa	$(39/40) = 0,9750$
Prijenosni omjer u 5. stupnju prijenosa	$(33/43) = 0,7674$
Prijenosni omjer pri vožni u nazad	$(43/12) = 3,5833$
Prijenosni omjer osovinske redukcije	$(65/16) = 4,0625$
Korisnost prijenosnog sustava	0.901 (procijena)

Tablica 9. Podaci o motoru [8]

Proizvođač	Peugeot
Vrsta	TU3JP-KFX
Promjer x hod klipa [mm]	75x77
Broj cilindara	4
Radni volumen motora [cm ³]	1361
Kompresijski omjer	10.2
Najveći moment pri brzini vrtnje [Nm/o/min]	111/2600
Najveća snaga pri brzini vrtnje [kW/o/min]	55/5500
Brzina vrtnje u praznom hodu [o/min]	800
Najveća brzina vrtnje [o/min]	6400
Potrošnja goriva u praznom hodu [L/h]	0,70



Slika 11. Vanjska karakteristika motora [9]

Tablica 10. Podaci momenta i specifične potrošnje goriva pri brzinama vrtnje motora

n min-1	M Nm	g g/kWh
800	87,96	294,75
801	88,00	294,66
802	88,04	294,58
803	88,08	294,49
804	88,12	294,40
805	88,16	294,32
806	88,21	294,23
807	88,25	294,14
808	88,29	294,06
809	88,33	293,97
810	88,37	293,89
811	88,41	293,80
812	88,45	293,72
813	88,49	293,63
814	88,53	293,54
815	88,58	293,46
816	88,62	293,38
817	88,66	293,29
818	88,70	293,21
819	88,74	293,12
820	88,78	293,04
821	88,82	292,95
822	88,86	292,87
823	88,90	292,79
824	88,94	292,70
825	88,98	292,62

Za svaku fazu ispitnog ciklusa propisana je brzina vožnje kroz cijeli ispitni ciklus prema [9], prikazano u tablici 11.

Tablica 11. Prikaz brzina vožnje u ispitnoim cilusu [9]

Table A1/7 WLTC, Class 3 vehicles, phase Low3							
Time in s	Speed in km/h	Time in s	Speed in km/h	Time in s	Speed in km/h	Time in s	Speed in km/h
0	0.0	47	19.5	94	12.0	141	11.7
1	0.0	48	18.4	95	9.1	142	16.4
2	0.0	49	17.8	96	5.8	143	18.9
3	0.0	50	17.8	97	3.6	144	19.9
4	0.0	51	17.4	98	2.2	145	20.8
5	0.0	52	15.7	99	0.0	146	22.8
6	0.0	53	13.1	100	0.0	147	25.4
7	0.0	54	12.1	101	0.0	148	27.7
8	0.0	55	12.0	102	0.0	149	29.2
9	0.0	56	12.0	103	0.0	150	29.8
10	0.0	57	12.0	104	0.0	151	29.4
11	0.0	58	12.3	105	0.0	152	27.2
12	0.2	59	12.6	106	0.0	153	22.6
13	1.7	60	14.7	107	0.0	154	17.3
14	5.4	61	15.3	108	0.0	155	13.3
15	9.9	62	15.9	109	0.0	156	12.0
16	13.1	63	16.2	110	0.0	157	12.6
17	16.9	64	17.1	111	0.0	158	14.1
18	21.7	65	17.8	112	0.0	159	17.2
19	26.0	66	18.1	113	0.0	160	20.1
20	27.5	67	18.4	114	0.0	161	23.4
21	28.1	68	20.3	115	0.0	162	25.5
22	28.3	69	23.2	116	0.0	163	27.6
23	28.8	70	26.5	117	0.0	164	29.5
24	29.1	71	29.8	118	0.0	165	31.1
25	30.8	72	32.6	119	0.0	166	32.1
26	31.9	73	34.4	120	0.0	167	33.2
27	34.1	74	35.5	121	0.0	168	35.2
28	36.6	75	36.4	122	0.0	169	37.2
29	39.1	76	37.4	123	0.0	170	38.0
30	41.3	77	38.5	124	0.0	171	37.4
31	42.5	78	39.3	125	0.0	172	35.1
32	43.3	79	39.5	126	0.0	173	31.0
33	43.9	80	39.0	127	0.0	174	27.1
34	44.4	81	38.5	128	0.0	175	25.3
35	44.5	82	37.3	129	0.0	176	25.1
36	44.2	83	37.0	130	0.0	177	25.9
37	42.7	84	36.7	131	0.0	178	27.8
38	39.9	85	35.9	132	0.0	179	29.2
39	37.0	86	35.3	133	0.0	180	29.6
40	34.6	87	34.6	134	0.0	181	29.5
41	32.3	88	34.2	135	0.0	182	29.2
42	29.0	89	31.9	136	0.0	183	28.3
43	25.1	90	27.3	137	0.0	184	26.1
44	22.2	91	22.0	138	0.2	185	23.6
45	20.9	92	17.0	139	1.9	186	21.0
46	20.4	93	14.2	140	6.1	187	18.9

2.2.Modifikacija ciklusa

Kod vozila kojima se odnos snage i mase (PMR – eng. *Power to Mass ratio*) nalazi blizu granica između Klase 1 i Klase 2, granica između Klase 2 i Klase 3 ili kod vozila male snage u Klasi 1, može doći do problema s voznim svojstvima zbog kombinacija visokih brzina i visokih ubrzanja vozila. U tom slučaju se primjenjuje postupak usporavanja kako bi se poboljšala vozna svojstva.

$$\text{PMR} = \frac{P}{m} = \frac{55000}{1050} = 57,9 \frac{\text{W}}{\text{kg}} \quad (1)$$

Postupak usporavanja se preskače jer se odnos snage i mase predmetnog vozila ne nalazi blizu tih granica te spada u Klasu 3.

2.3.Odabir stupnja prijenosa

Pema Uredbi Global technical regulation No. 15, dopuna 2. za odabir potrebnog stupnja prijenosa u transmisiji tijekom ispitnog ciklusa potrebno je poznavati veličine prikazane u odlomku 2.3.1.

2.3.1. Potrebni podaci

- najveća nazivna snaga motora prema podacima proizvođača: $P_{rated} = 55 \text{ kW}$,
- nazivni broj okretaja motora pri kojoj motor razvija najveću snagu:

$$n_{rated} = 5500 \text{ min}^{-1},$$

- brzina vrtnje motora u praznom hodu: $n_{idle} = 800 \text{ min}^{-1}$,
- broj stupnjeva prijenosa za vožnju prema naprijed: $n_g = 5$,
- omjer brzine vrtnje motora i brzine vozila: $(n/v)_i$,

$$(n/v)_i = \frac{(r_i \cdot r_{axle} \cdot 60000)}{(U_{dyn} \cdot 3,6)} \left[\frac{\text{min}^{-1}}{\text{km/h}} \right], \quad (2)$$

gdje je:

- n brzina vrtnje motora, min^{-1} ,
- v brzina vozila, km/h ,
- r_i prijenosni omjer u stupnju prijenosa i ,
- r_{axle} prijenosni omjer osovinske redukcije,

- U_{dyn} dinamički opseg kotrljanja pneumatika pogonske osovine izračunat korištenjem sljedeće jednadžbe:

$$U_{dyn} = 3,05 \cdot \left(2 \cdot \left(\frac{H}{100} \right) \cdot W + (R \cdot 2,54) \right) [\text{mm}], \quad (3)$$

$$U_{dyn} = 3,05 \times \left(2 \cdot \left(\frac{65}{100} \right) \cdot 175 + (14 \cdot 2,54) \right),$$

$$U_{dyn} = 1778 \text{ mm},$$

gdje je:

- H/W odnos visine profila i širine pneumatika, pr. "45" za 225/45 R17 pneuntik,
- W širina pneumatika, pr. "225" za 225/45 R17 pneuntik,
- R promjer naplatka, pr. "17" za 225/45 R17 pneuntik.

$$(n/v)_1 = \frac{(r_1 \cdot r_{axle} \cdot 60000)}{(U_{dyn} \cdot 3,6)} = \frac{41/12 \cdot 65/16 \cdot 60000}{1788 \cdot 3,6},$$

$$(n/v)_1 = 130,11 \frac{\text{min}^{-1}}{\text{km/h}},$$

$$(n/v)_2 = 68,91 \frac{\text{min}^{-1}}{\text{km/h}},$$

$$(n/v)_3 = 48,59 \frac{\text{min}^{-1}}{\text{km/h}},$$

$$(n/v)_4 = 37,13 \frac{\text{min}^{-1}}{\text{km/h}},$$

$$(n/v)_5 = 29,23 \frac{\text{min}^{-1}}{\text{km/h}},$$

f) f_0, f_1, f_2 , koeficijenti cestovnog otpora odabrani za ispitivanje, N, N/(km/h), N/(km/h)²

$$f_0 = 0,14 \cdot TM [\text{N}], \quad (4)$$

$$f_1 = 0 \left[\frac{\text{N}}{\frac{\text{km}}{\text{h}}} \right], \quad (5)$$

$$f_2 = 2,8 \cdot 10^{-6} \cdot TM + 0,017 \cdot A_w \left[\frac{N}{\left(\frac{km}{h}\right)^2} \right], \quad (6)$$

gdje je:

- TM ispitna masa vozila
- A_w čeona površina vozila

$$f_0 = 0,14 \cdot 1050 = 147 \text{ N},$$

$$f_2 = 2,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1050 + 0,017 \cdot 1,97 = 0,03643 \frac{N}{\left(\frac{km}{h}\right)^2},$$

g) maksimalna brzina vrtnje motora: $n_{max} = 6400 \text{ min}^{-1}$,

h) krivulja snage pod punim opterećenjem u rasponu brzine vrtnje motora: $P_{wot}(n)$,

$$P_{wot,k} = M_k \cdot \omega_k [\text{kW}], \quad (7)$$

gdje je:

- M_k odabran iz podataka iz tablice 10.,
- ω_k izračunata iz podataka iz tablice 10., formulom:

$$\omega_k = \frac{2\pi \cdot n_k}{60} [\text{s}^{-1}], \quad (8)$$

Tablica 12. Prikaz izračuna snage

n	M	g	P
min-1	Nm	g/kWh	kW
800	87,96	294,75	7,36853
801	88,00	294,66	7,38125
802	88,04	294,58	7,39397
803	88,08	294,49	7,40670
804	88,12	294,40	7,41942
805	88,16	294,32	7,43216
806	88,21	294,23	7,44489
807	88,25	294,14	7,45763
808	88,29	294,06	7,47037
809	88,33	293,97	7,48311
810	88,37	293,89	7,49586
811	88,41	293,80	7,50861
812	88,45	293,72	7,52136
813	88,49	293,63	7,53412
814	88,53	293,54	7,54688
815	88,58	293,46	7,55964
816	88,62	293,38	7,57240
817	88,66	293,29	7,58517
818	88,70	293,21	7,59794
819	88,74	293,12	7,61071
820	88,78	293,04	7,62349
821	88,82	292,95	7,63627
822	88,86	292,87	7,64905
823	88,90	292,79	7,66184

i) stupanj prijenosa u kojem je postignuta maksimalna brzina vozila: ng_{vmax} ,

Ako je $v_{max}(ng) \geq v_{max}(ng - 1)$ onda je $ng_{vmax} = ng$, u suprotnom $ng_{vmax} = ng - 1$.

Potrebna snaga cestovnog otpora računa se pomoću slijedeće formule:

$$P_{required} = \frac{f_0 \cdot v_{max} + f_1 \cdot v_{max}^2 + f_2 \cdot v_{max}^3}{3600} \text{ [kW]}, \quad (9)$$

gdje je v_{max} brzina vozila u km/h.

Potrebno je izračunati brzine vozila u svakom stupnju prijenosa u svrhu određivanja stupnja prijenosa u kojemu se postiže najveća brzina vozila:

$$v_i = 2\pi \cdot \frac{r_d}{60} \cdot \frac{n}{r_i \cdot r_{axle}} \cdot 3,6 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right], \quad (10)$$

gdje je:

- r_i prijenosni omjer u stupnju prijenosa i
- r_{axle} prijenosni omjer osovinske redukcije
- r_d dinamički radijus kotača izračnat prema:

$$r_d = 0,97 \cdot r = 0,97 \cdot 0,29155 = 0,2828 \text{ m}, \quad (11)$$

gdje je:

- r radijus neopterećenog kotača,
- R radijus naplatka,
- H_R visina profila neopterećene gume,

$$R = \frac{14''}{2} = 7'' = 7 \cdot 0,254 = 0,1778 \text{ m}, \quad (12)$$

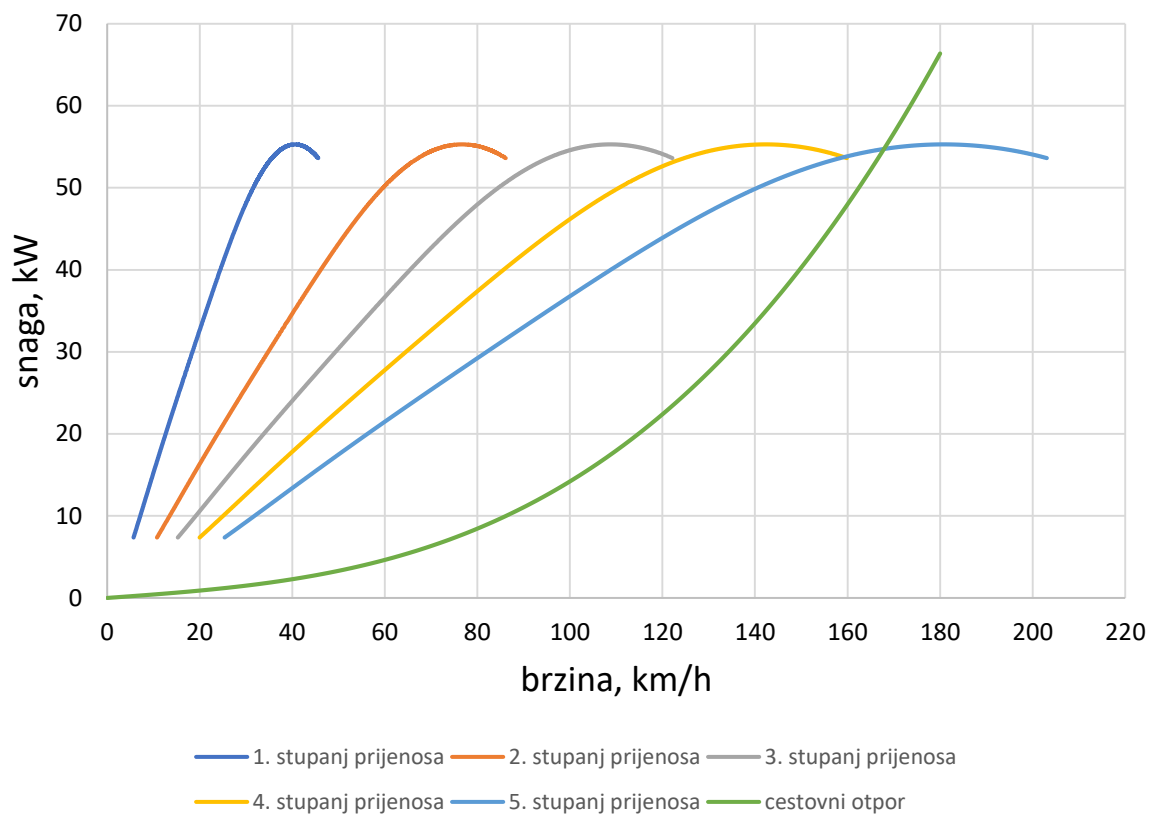
$$H_R = 0,175 \cdot 0,65 = 0,11375 \text{ m}, \quad (13)$$

$$r = R + H_R = 0,1778 + 0,11375 = 0,29155 \text{ m}. \quad (14)$$

Tablica 13. Prikaz izračuna brzina vozila u stupnjevima prijenosa

1	n	M	g	P	v1	v2	v3	v4	v5
2	min-1	Nm		kW	km/h				
3									
4	800	87,96	294,75	7,36853	5,70139	10,76512272	15,2679	19,9792	25,3827
5	801	88,00	294,66	7,38125	5,70852	10,77857912	15,287	20,0042	25,4144
6	802	88,04	294,58	7,39397	5,71564	10,79203553	15,3061	20,0292	25,4462
7	803	88,08	294,49	7,40670	5,72277	10,80549193	15,3252	20,0541	25,4779
8	804	88,12	294,40	7,41942	5,7299	10,81894833	15,3442	20,0791	25,5096
9	805	88,16	294,32	7,43216	5,73702	10,83240474	15,3633	20,1041	25,5413
10	806	88,21	294,23	7,44489	5,74415	10,84586114	15,3824	20,1291	25,5731

Iz podataka snage i podataka brzina vozila u svim stupnjevima prijenosa za vožnju unaprijed prema tablici 16. napravljen je dijagram kako bi odredili stupanj prijenosa u kojem se postiže najveća brzina:



Slika 12. Dijagram snage i brzine vozila kroz stupnjeve prijenosa

Najveća brzina postiže se u 5. stupnju prijenosa što znači da je $ng_{vmax} = ng$.

j) minimalna brzina motora kad se vozilo kreće: n_{min_drive} ,

za $n_{gear} = 1$, $n_{min_drive} = n_{idle}$,

za $n_{gear} = 2$,

1) prilikom prebacivanja iz prvog u drugi stupanj prijenosa:

$$n_{min_drive} = 1,15 \cdot n_{idle},$$

2) za usporavnje do stajanja:

$$n_{min_drive} = n_{idle},$$

3) za sve ostale uvjete vožnje:

$$n_{min_drive} = 0,9 \cdot n_{idle},$$

za $n_{gear} > 2$, n_{min_drive} se određuje pomoću:

$$n_{min_drive} = n_{idle} + 0,125 \cdot (n_{rated} - n_{idle}).$$

2.3.2. Izračun potrebne snage

Za svaku sekundu j ciklusa, potrebna snaga za savladati cestovni otpor i ubrzati računa se sljedećom formulom:

$$P_{required,j} = \frac{f_0 \cdot v_j + f_1 \cdot v_j^2 + f_2 \cdot v_j^3}{3600} + \frac{kr + a_j + v_j + TM}{3600} [\text{kW}], \quad (15)$$

gdje je:

- a_j ubrzanje vozila izračunato prema:

$$a_j = \frac{(v_{j+1} - v_j)}{3,6 \times (t_{j+1} - t_j)} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right], \quad (16)$$

- kr faktor koji uzima u obzir inercijski otpor pogonskog sklopa tijekom ubrzavanja te je postavljen na 1,03,
- f_0, f_1, f_2 koefijenti cestovnog otpora prema 1.3.f)

Tablica 14. Prikaz izračuna $P_{required,j}$ i ubrzanja a_j

Faza	Ukupno vrijeme	Vrijeme faze	Brzina		Ubrzanje	put	Prequired
	s	s	km/h	m/s	m/s ²	m	kW
Low 3	0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Low 3	1	1	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Low 3	2	2	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Low 3	3	3	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Low 3	4	4	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Low 3	5	5	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Low 3	6	6	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Low 3	7	7	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Low 3	8	8	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Low 3	9	9	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Low 3	10	10	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Low 3	11	11	0,00	0,00	0,05556	0,00	0,00
Low 3	12	12	0,20	0,06	0,41667	0,03	0,03
Low 3	13	13	1,70	0,47	1,02778	0,29	0,59
Low 3	14	14	5,40	1,50	1,25	1,28	2,25
Low 3	15	15	9,90	2,75	0,88889	3,40	3,06
Low 3	16	16	13,10	3,64	1,05556	6,60	4,71
Low 3	17	17	16,90	4,69	1,33333	10,76	7,51
Low 3	18	18	21,70	6,03	1,19444	16,13	8,78

2.3.3. Određivanje brzine vrtnje motora

- za bilo koju brzinu vozila $v_j < 1$ smatra se da vozilo miruje, a brzina vrtnje motora je postavljena na n_{idle} ,
- za svaki $v_j > 1$ ciklusa i svaki stupanj prijenosa i , od $i = 1$ do ng_{max} , brzina vrtnje motora izračunava se pomoću sljedeće jednadžbe:

$$n_{i,j} = \left(\frac{n}{v}\right)_i \cdot v_j [\text{min}^{-1}], \quad (17)$$

Brzina vrtnje motora izračunata je za sve stupnjeve prijenosa pri svim brzinama vozila kroz cijeli ciklus uz primjenjene uvjete 1.3.g) i 1.3.j).

Tablica 15. Prikaz izračuna brzine vrtnje motora

Faza	Ukupno vrijeme	Vrijeme faze	Brzina		Ubrzanje	put	Prequired	Brzina vrtnje $n_{i,j}$				
								1.stupanj	2.stupanj	3.stupanj	4.stupanj	5.stupanj
			s	s	km/h	m/s	m/s2	m	kW	okr/min		
Low 3	8	8	0,00	0,00	0	0,00	0,00	800	0	0	0	0
Low 3	9	9	0,00	0,00	0	0,00	0,00	800	0	0	0	0
Low 3	10	10	0,00	0,00	0	0,00	0,00	800	0	0	0	0
Low 3	11	11	0,00	0,00	0,05556	0,00	0,00	920	0	0	0	0
Low 3	12	12	0,20	0,06	0,41667	0,03	0,03	920	0	0	0	0
Low 3	13	13	1,70	0,47	1,02778	0,29	0,59	920	0	0	0	0
Low 3	14	14	5,40	1,50	1,25	1,28	2,25	920	0	0	0	0
Low 3	15	15	9,90	2,75	0,88889	3,40	3,06	1288	0	0	0	0
Low 3	16	16	13,10	3,64	1,05556	6,60	4,71	1704	903	0	0	0
Low 3	17	17	16,90	4,69	1,33333	10,76	7,51	2199	1165	0	0	0
Low 3	18	18	21,70	6,03	1,19444	16,13	8,78	2823	1495	0	0	0
Low 3	19	19	26,00	7,22	0,41667	22,75	4,49	3383	1792	0	0	0
Low 3	20	20	27,50	7,64	0,16667	30,18	2,71	3578	1895	0	0	0
Low 3	21	21	28,10	7,81	0,05556	37,90	1,84	3656	1936	0	0	0
Low 3	22	22	28,30	7,86	0,13889	45,74	2,57	3682	1950	0	0	0
Low 3	23	23	28,80	8,00	0,08333	53,67	2,14	3747	1985	1399	0	0
Low 3	24	24	29,10	8,08	0,47222	61,71	5,57	3786	2005	1414	0	0
Low 3	25	25	30,80	8,56	0,30556	70,03	4,38	4007	2122	1496	0	0
Low 3	26	26	31,90	8,86	0,61111	78,74	7,49	4151	2198	1550	0	0
Low 3	27	27	34,10	9,47	0,69444	87,90	8,91	4437	2350	1657	0	0
Low 3	28	28	36,60	10,17	0,69444	97,72	9,63	4762	2522	1778	0	0
Low 3	29	29	39,10	10,86	0,61111	108,24	9,38	5087	2694	1900	1452	0
Low 3	30	30	41,30	11,47	0,33333	119,40	6,54	5374	2846	2007	1533	0
Low 3	31	31	42,50	11,81	0,22222	131,04	5,35	5530	2929	2065	1578	0

2.3.4. Odabir mogućih stupnjeva prijenosa vezano za brzinu vrtnje motora

- svi stupnjevi prijenosa $i < ng_{vmax}$ gdje je $n_{min_drive} \leq n_{i,j} \leq n_{max_95}$
- svi stupnjevi prijenosa $i \geq ng_{vmax}$ gdje je $n_{min_drive} \leq n_{i,j} \leq n_{max}(ng_{vmax})$
- stupanj prijenosa 1, ako je $n_{i,j} < n_{min_drive}$

Ako je $a_j \leq 0$ i $n_{i,j} \leq n_{idle}$, $n_{i,j}$ se postavlja na n_{idle} .

Ako je $a_j > 0$ i $n_{i,j} \leq (1,15 \times n_{idle})$, $n_{i,j}$ se postavlja na $(1,15 \times n_{idle})$.

2.3.5. Izračun dostupne snage

Raspoloživa snaga za svaki mogući stupanj prijenosa i i svaku vrijednost brzine vozila u ciklusu, v_i izračunava se pomoću sljedeće jednadžbe:

$$P_{available_i,j} = P_{wot}(n_{i,j}) \cdot (1 - (SM + ASM)) [kW], \quad (18)$$

gdje je:

- P_{wot} snaga dostupna na $n_{i,j}$ u uvjetima punog opterećenja iz krivulje snage pod punim opterećenjem,
- SM sigurnosna margina koja uzima u obzir razliku između stacionarnog stanja pod punim opterećenjem i raspoložive snage tijekom prijelaznih stanja. SM je postavljen na 10 %,
- ASM dodatna eksponencijalna sigurnosna margina za snagu koja se može primijeniti na zahtjev proizvođača (nije korišteno u proračunu).

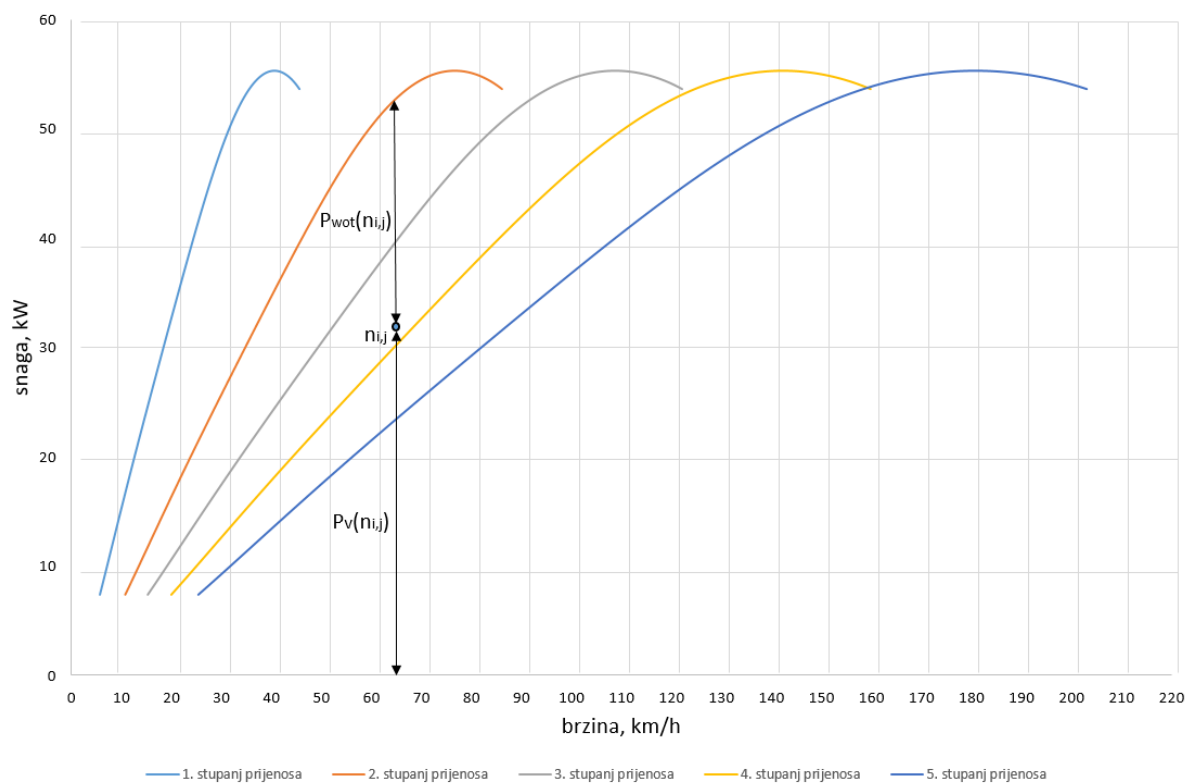
$P_{wot}(n_{i,j})$ je izračunat kao razlika maksimalne snage pri $n_{i,j}$ i snage potrebne za savladavanje svih otpora pri $n_{i,j}$ formulom:

$$P_{wot}(n_{i,j}) = P_{max}(n_{i,j}) - P_v(n_{i,j}) [kW], \quad (19)$$

gdje je:

- $P_{max}(n_{i,j})$ odabran iz tablice 12. za pripadajuću brzinu vrtnje pri i,j ,
- $P_v(n_{i,j})$ izračunat kao zbroj snaga otpora formulom:

$$P_v(n_{i,j}) = (F_{kot} + F_z + F_a(n_{i,j})) \cdot v_j \div 1000 [kW]. \quad (20)$$



Slika 13. Dijagramski prikaz izračuna $P_{wot}(n_{ij})$

Sile otpora izračunate su formulama:

$$F_{kot} = f_{kot} \cdot m \cdot g [\text{N}], \quad (21)$$

$$F_z = p_z \cdot c_w \cdot A [\text{N}], \quad (22)$$

$$F_{a_{i,j}} = a_j \cdot k_{m,i} \cdot m [\text{N}], \quad (23)$$

gdje je:

- f_{kot} izračunat formulom (22), a kefcijenti odabrani prema [Tablica 7]:

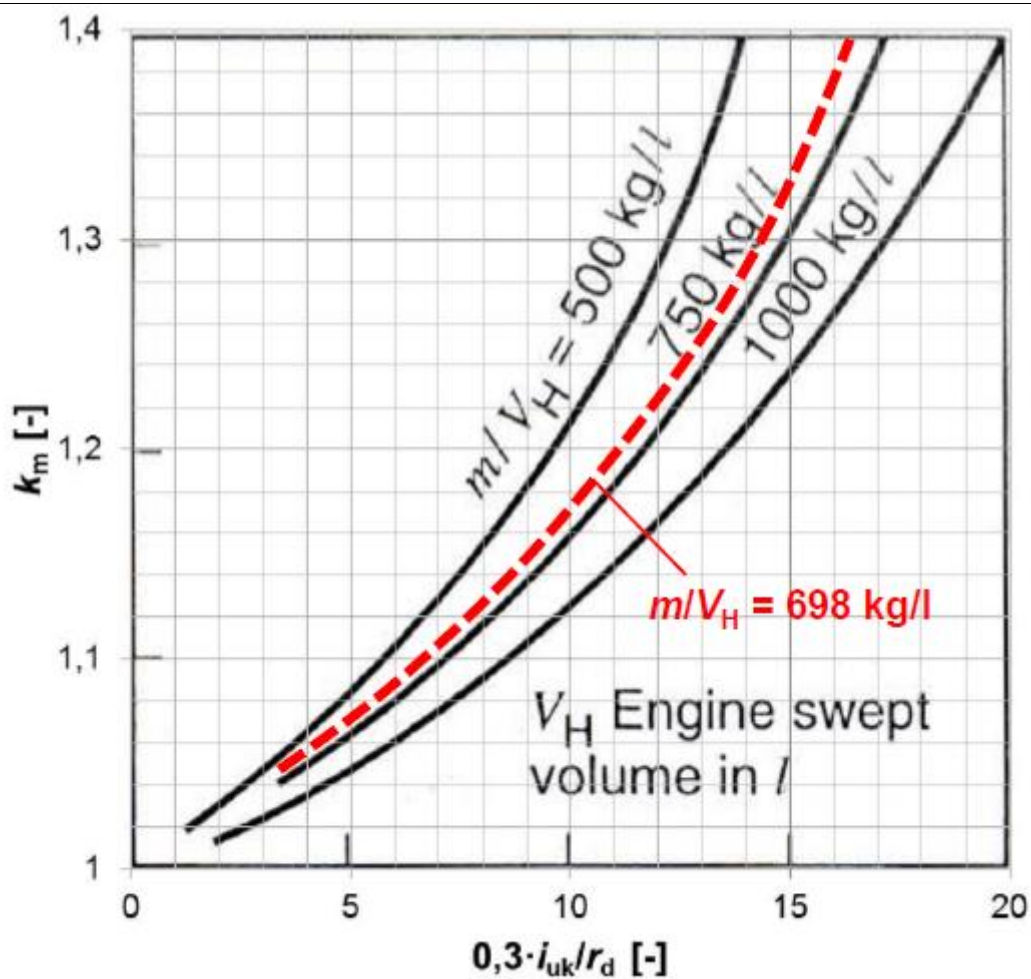
$$f_{kot} = f_{k,1} + f_{k,2} \cdot \left(\frac{v_j}{100}\right) + f_{k,3} \cdot \left(\frac{v_j}{100}\right)^4 [-], \quad (24)$$

- p_z izračunat prema formuli:

$$p_z = \rho_{zr} \cdot \frac{v_j^2}{2} [\text{Pa}], \quad (25)$$

- $k_{m,i}$ određen iz dijagrama [Slika 14] i pomoćnih veličina:

$$\frac{m}{V_H} = \frac{950}{1,361} = 968 \left[\frac{\text{kg}}{\text{l}}\right], \quad (26)$$



Slika 14. Dijagram za određivanje faktora rotirajućih masa

Tablica 16. Omjer ukupnog prijenosnog omjera i dinamičkog radijusa za pojedini stupanj prijenosa

stupanj prijenosa	1.	2.	3.	4.	5.
$0,3 \cdot \frac{i_{uk}}{r_{din}}, [m^{-1}]$	14,28	7,56	5,33	4,08	3,21

Tablica 17. Očitane vrijednosti faktora rotirajućih masa

stupanj prijenosa	k_m
1	1,295
2	1,118
3	1,075
4	1,055
5	1,041

2.3.6. Određivanje mogućih stupnjeva prijenosa

Mogući stupnjevi prijenosa određuju se slijedećim uvjetima:

- zadovoljeni su uvjeti iz odlomka 0, i
- za sve $n_{i,j} \geq n_{min_drive}$ stupnjeva prijenosa $n_{gear} > 2$, $P_{available_ij} \geq P_{required,j}$.

Početni stupanj prijenosa koji se treba koristiti za svaku sekundu j ciklusa je najveći konačni mogući stupanj prijenosa.

Prilikom pokretanja iz stanja mirovanja koristi se samo 1. stupanj prijenosa.

2.3.7. Ispravke i/ili modifikacije korištenja stupnjeva prijenosa

Početni izbor stupnja prijenosa provjerava se i mijenja kako bi se izbjegle previše česte promjene stupnja prijenosa i osigurala dobra vozna svojstva i praktičnost.

Ispravke i/ili izmjene provode se u skladu sa slijedećim zahtjevima:

- Ako je potreban niži stupanj prijenosa pri velikim brzinama vozila tijekom faze ubrzanja, viši stupnjevi prijenosa prije ispravljaju se na niži stupanj prijenosa.
- Stupnjevi prijenosa koji se koriste tijekom ubrzanja moraju se koristiti tijekom najmanje dvije sekunde (npr. stupanj prijenosa 1, 2, 3, 3, 3, 3, 3 mijenja se u 1, 1, 2, 2, 3, 3, 3). Stupnjevi prijenosa ne smiju se preskakati tijekom faza ubrzavanja.
- Tijekom faze usporavanja, stupnjevi prijenosa $n_{gear} > 2$ koriste se sve dok broj okretaja motora ne padne ispod n_{min_drive} .

Ako je trajanje slijeda stupnjeva prijenosa samo jedna sekunda, zamjenjuje se stupnjem prijenosa 0 a spojka je otpuštena.

Ako je trajanje slijeda stupnjeva prijenosa dvije sekunde, zamjenjuje se stupnjem prijenosa 0 za prvu sekundu, a za drugu sekundu stupnjem prijenosa koji slijedi nakon razdoblja od dvije sekunde. Spojka mora otpuštena tijekom prve sekunde.

- d) Drugi stupanj prijenosa koristi se tijekom faze usporavanja u kratkom odsječku ciklusa sve dok broj okretaja motora ne padne ispod $(0,9 \times n_{idle})$.
- e) Ako je faza usporavanja posljednji dio kratkog odsječka neposredno prije faze zaustavljanja a drugi stupanj prijenosa koristi se samo za razdoblje do dvije sekunde, spojka može biti otpuštena ili ručica mjenjača smještena u prazan hod, a spojka se ostavlja otpuštenom.

Uključivanje prvog stupnja prijenosa nije dopušteno tijekom tih faza usporavanja.

- f) Ako se koristi stupanj prijenosa i u vremenskom slijedu od 1 do 5 sekundi, a stupanj prijenosa prije ove sekvence je manji, te je stupanj prijenosa nakon ove sekvence isti ili manji od stupnja prijenosa prije nje, stupanj prijenosa za tu sekvencu korigira se na stupanj prijenosa prije te sekvence.

Primjeri:

- 1) Redoslijed stupnjeva prijenosa $i - 1, i, i - 1$ zamjenjuje se s $i - 1, i - 1, i - 1$;
- 2) Redoslijed stupnjeva prijenosa $i - 1, i, i, i - 1$ zamjenjuje se s $i - 1, i - 1, i - 1, i - 1$;
- 3) Redoslijed stupnjeva prijenosa $i - 1, i, i, i, i - 1$ zamjenjuje se s $i - 1, i - 1, i - 1, i - 1, i - 1$;
- 4) Redoslijed stupnjeva prijenosa $i - 1, i, i, i, i, i - 1$ zamjenjuje se s $i - 1, i - 1, i - 1, i - 1, i - 1, i - 1$;
- 5) Redoslijed stupnjeva prijenosa $i - 1, i, i, i, i, i, i - 1$ zamjenjuje se s $i - 1, i - 1, i - 1, i - 1, i - 1, i - 1, i - 1$.

U svim slučajevima od 1) do 5), mora biti ispunjen uvjet $i - 1 \geq i_{min}$.

Nakon što su odabrani stupnjevi prijenosa prema [2.3.6] i nakon toga korigirani prema [2.3.7], za svaki supanj prijenosa određena je brzina vrtnje motora, faktor rotirajućih masa i sila otpora ubrzanja te izračunata vučna sila i moment motora za svaku sekundu j formulama:

$$F_{V,j} = F_{kot} + F_z + F_{a_{i,j}} [\text{N}], \quad (27)$$

$$M_e = \frac{F_{V,j} \cdot r_d}{i_{or} \cdot i_{m,i} \cdot \eta_m} [\text{Nm}]. \quad (28)$$

Tablica 18. Izračun momenta motora

stupanj prijenosa	stupanj prijenosa KORIGIRAN	im	km	F _a	F _v	M	brzina vrtanje
				N	N	Nm	o/min
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
0	0	0,000000	0	0,00	0,00	0	800
1	1	3,416667	1,26	551,25	644,00	15,0133	920
1	1	3,416667	1,26	1359,75	1452,89	33,87074	920
1	1	3,416667	1,26	1653,75	1748,42	40,76032	920
1	1	3,416667	1,26	1176,00	1273,60	29,69114	1288
1	1	3,416667	1,26	1396,50	1496,91	34,89705	1704
1	1	3,416667	1,26	1764,00	1868,52	43,56031	2199
1	1	3,416667	1,26	1580,25	1691,17	39,42582	2823
2	2	1,809524	1,1	481,25	599,05	26,36918	1792
2	2	1,809524	1,1	192,50	312,96	13,77583	1895
2	2	1,809524	1,1	64,17	185,72	8,175214	1936

2.3.8. Potrošnja goriva

Masene potrošnja goriva za vozilo koje se kreće iznosi:

- za $M_e > 0$:

$$m_{G,i} = g_e(M_e, n_i) \cdot M_e \cdot \frac{2\pi \times n_i}{60} \cdot \frac{(t_i - t_{i-1})}{3600 \times 1000} \text{ [g/s]}, \quad (29)$$

- za $M_e \leq 0$:

$$m_{G,i} = 0. \quad (30)$$

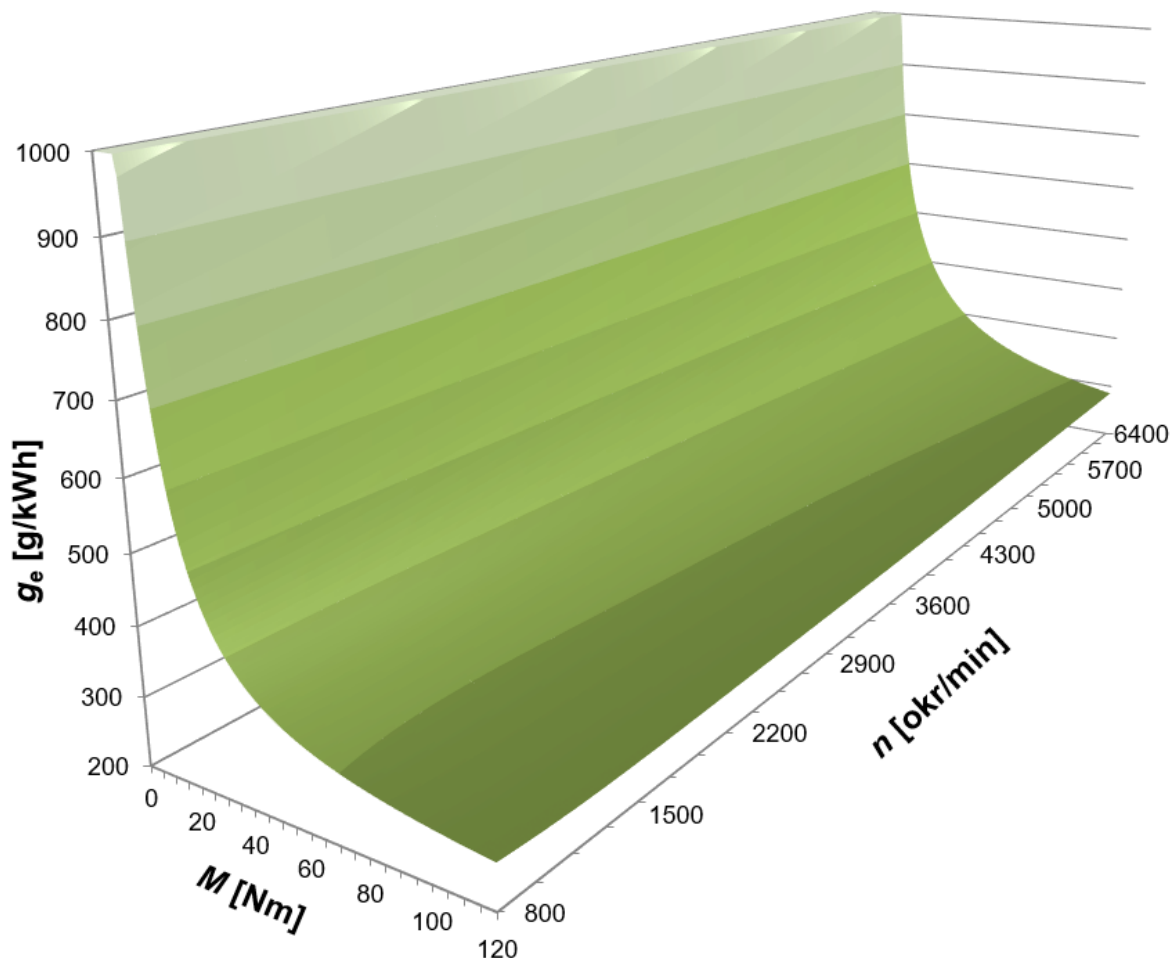
Masena potrošnja goriva za vozilo koje stoji, a motor radi, iznosi:

$$m_{G,i} = \rho_G \cdot V_{Gh,prazni\ hod} \cdot \frac{(t_i - t_{i-1})}{3600} \text{ [g/s]}, \quad (31)$$

gdje je volumna potrošnja goriva $V_{Gh,prazni\ hod} = 0,7$ l/h.

Za četverotaktni atmosferski Ottov motor uz uvjet stehiometrijske smjese goriva i zraka, specifična efektivna potrošnja goriva za zadanu vrijednost momenta motora i brzinu vrtnje motora iznosi [10]:

$$g_e(M_e, n_i) = g_{e, M_{e, max}}(n_i) \cdot \left[m(n_i) \cdot \frac{M_{e, max}(n_i)}{M_e} + b(n_i) \right] [\text{g/kWh}], \quad (32)$$



Slika 15. Prostorni prikaz topografskog dijagrama specifične efektivne potrošnje goriva gdje je:

- $M_{e, max}(n_i)$ moment motora kod punog opterećenja motora, kao funkcija brzine vrtnje motora n_i :

$$M_{e, max}(n_i) = a_{6, M} \cdot n_i^6 + a_{5, M} \cdot n_i^5 + a_{4, M} \cdot n_i^4 + a_{3, M} \cdot n_i^3 + a_{2, M} \cdot n_i^2 + a_{1, M} \cdot n_i + a_{0, M} [\text{Nm}], \quad (33)$$

- $g_{e,M_{e,max}}(n_i)$ specifična efektivna potrošnja goriva kod punog opterećenja motora (kod najvećeg momenta motora), kao funkcija brzine vrtnje motora:

$$g_{e,M_{e,max}}(n_i) = a_{6,g} \cdot n_i^6 + a_{5,g} \cdot n_i^5 + a_{4,g} \cdot n_i^4 + a_{3,g} \cdot n_i^3 + a_{2,g} \cdot n_i^2 + a_{1,g} \cdot n_i + a_{0,g} \left[\frac{\text{g}}{\text{kWh}} \right], \quad (34)$$

- $m(n_i)$ veličina m u ovisnosti brzine vrtnje motora n_i :

$$m(n_i) = a_{6,m} \cdot n_i^6 + a_{5,m} \cdot n_i^5 + a_{4,m} \cdot n_i^4 + a_{3,m} \cdot n_i^3 + a_{2,m} \cdot n_i^2 + a_{1,m} \cdot n_i + a_{0,m} [-], \quad (35)$$

- $b(n_i)$ veličina b u ovisnosti brzine vrtnje motora n_i :

$$b(n_i) = a_{6,b} \cdot n_i^6 + a_{5,b} \cdot n_i^5 + a_{4,b} \cdot n_i^4 + a_{3,b} \cdot n_i^3 + a_{2,b} \cdot n_i^2 + a_{1,b} \cdot n_i + a_{0,b} [-]. \quad (36)$$

Koeficijenti polinoma koji opisuju promjenu veličina m i b kod određivanja specifične efektivne potrošnje goriva za zadanu vrijednost momenta motora i brzinu vrtnje motora (koeficijenti vrijede samo za predmetni motor):

Tablica 19. Koeficijenti polinoma veličina m i b [10]

j	a_{jm}	a_{jb}
6	-1,5676E-23	-7,6896E-23
5	3,3232E-19	2,0283E-18
4	-2,5672E-15	-2,1337E-14
3	9,2074E-12	1,1261E-07
2	-1,2198E-08	-3,1507E-07
1	9,1344E-06	4,2802E-04
0	2,3104E-01	5,3618E-01

Koeficijenti polinoma koji opisuju promjenu momenta motora i specifične efektivne potrošnje goriva kod punog opterećenja motora (koeficijenti vrijede samo za predmetni motor):

Tablica 20. Koeficijenti polinoma momenta motora i specifične efektivne potrošnje goriva [10]

j	a_{jT}	a_{jbsfc}
6	-1,7853E-20	7,6311E-20
5	4,8586E-16	-1,8928E-15
4	-5,2536E-12	1,8850E-11
3	2,8568E-08	-9,5294E-08
2	-8,4258E-05	2,5804E-04
1	1,3162E-01	-3,5228E-01
0	2,3955E+01	4,5310E+02

Potrošnja goriva u WLTP ispitnom ciklusu iznosi:

$$G_{100} = \frac{\frac{1}{\rho_G} \cdot \sum_{t_i=1}^{1800} m_{G,i}}{s_{WLTP}} \cdot 100 \left[\frac{1}{100\text{km}} \right], \quad (37)$$

$$G_{100} = \frac{\frac{1}{755} \cdot 4788,7}{23,26628} \cdot 100 = 7,5725 \left[\frac{1}{100\text{km}} \right].$$

2.3.9. Emisija CO₂

Odnos mase CO₂ nastalog izgaranjem i određene mase goriva, pri čemu je $y = 1,85$ omjer broja atoma vodika i broja atoma ugljika u gorivu:

$$\begin{aligned} \frac{m_{CO_2}}{m_G} &= \frac{M_C + 2 \cdot M_O}{M_C + M_H \cdot y} = \frac{12,0107 + 2 \cdot 15,9994}{12,0107 + 1,00794 \cdot 1,85} \\ &= 3,171766932 [-], \end{aligned} \quad (38)$$

$$\frac{m_{CO_2}}{m_G} = \frac{12,0107 + 2 \cdot 15,9994}{12,0107 + 1,00794 \cdot 1,85} = 3,171766932 [-].$$

Emisija CO₂ uz WLTP ispitnom ciklusu:

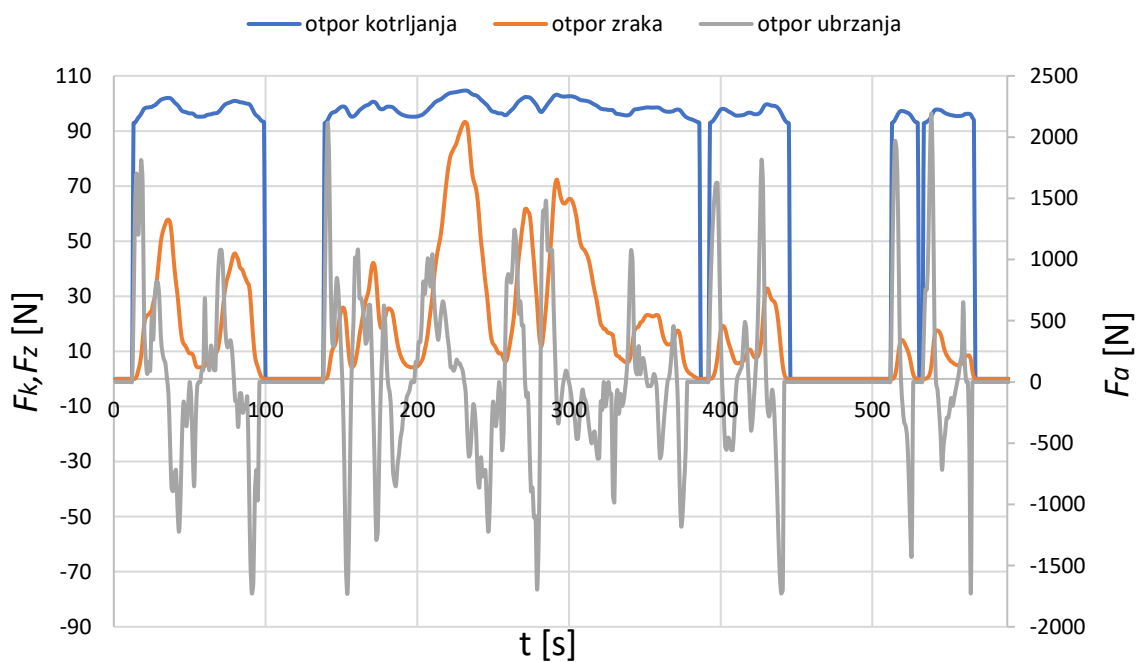
$$g_{CO_2} = \frac{\frac{m_{CO_2}}{m_G} \cdot \sum_{t_i=1}^{1800} m_{G,i}}{s_{WLTP}} \left[\frac{\text{g}_{CO_2}}{\text{km}} \right], \quad (39)$$

$$g_{CO_2} = \frac{3,171766932 \cdot 4788,7}{23,26628} = 181,3383 \left[\frac{\text{g}_{CO_2}}{\text{km}} \right].$$

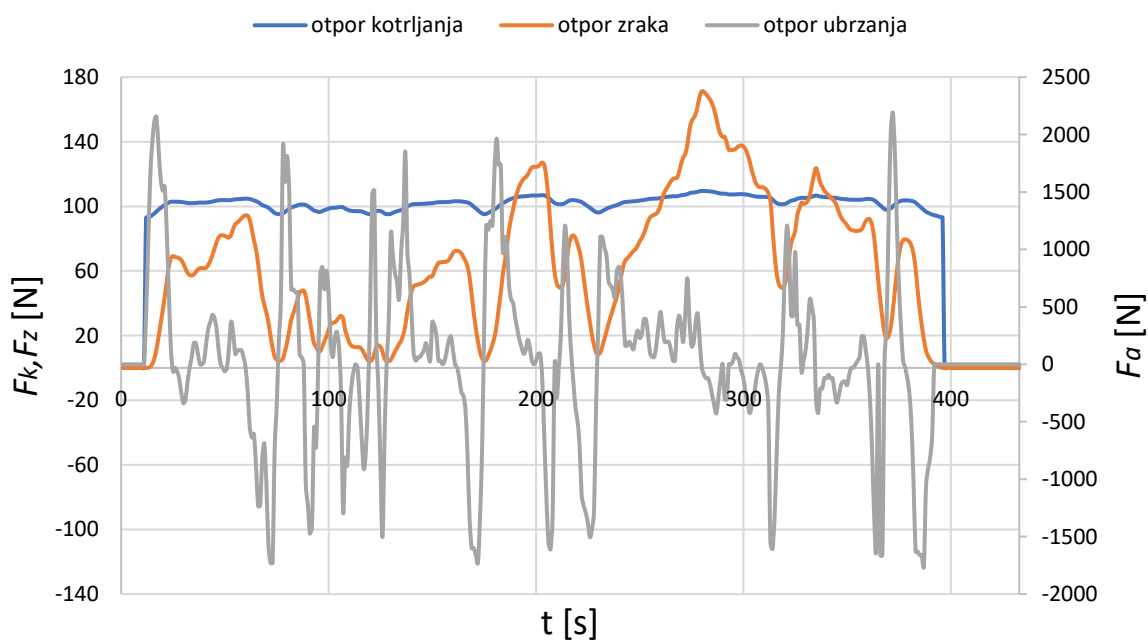
3. PRIKAZ REZULTATA

Svi rezultati su prikazani dijagramima, izrađenim u programskom paketu Microsoft Excel.

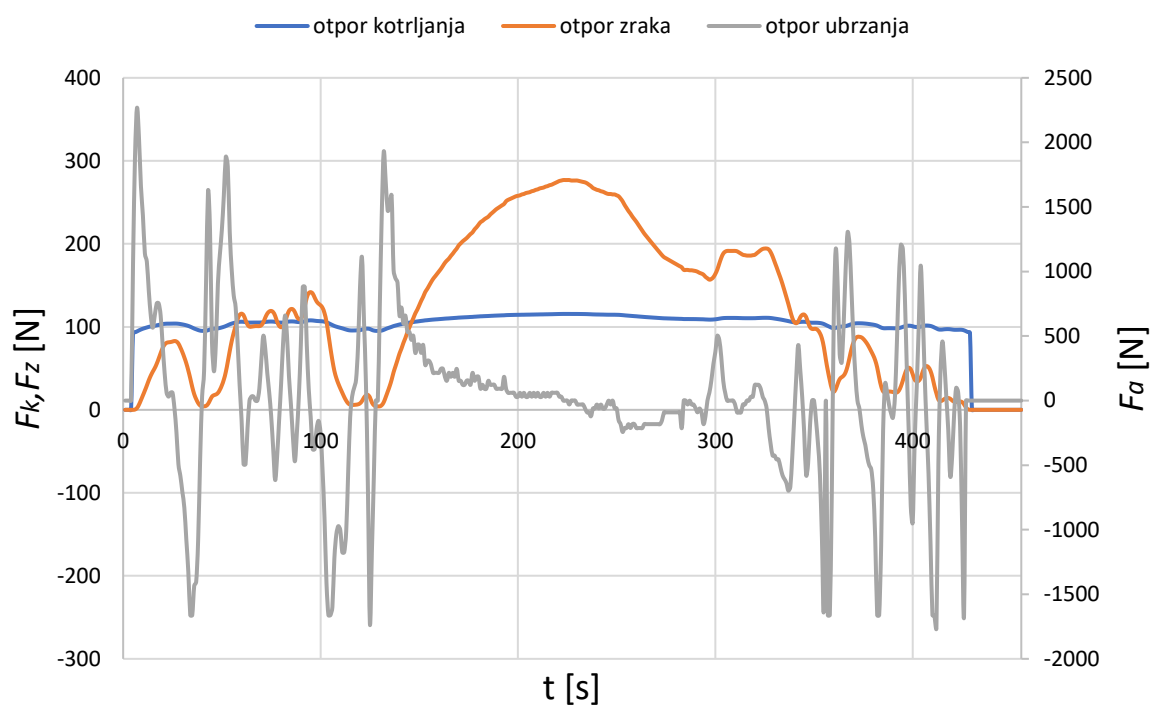
3.1. Rezultati WLTP ispitnog ciklusa



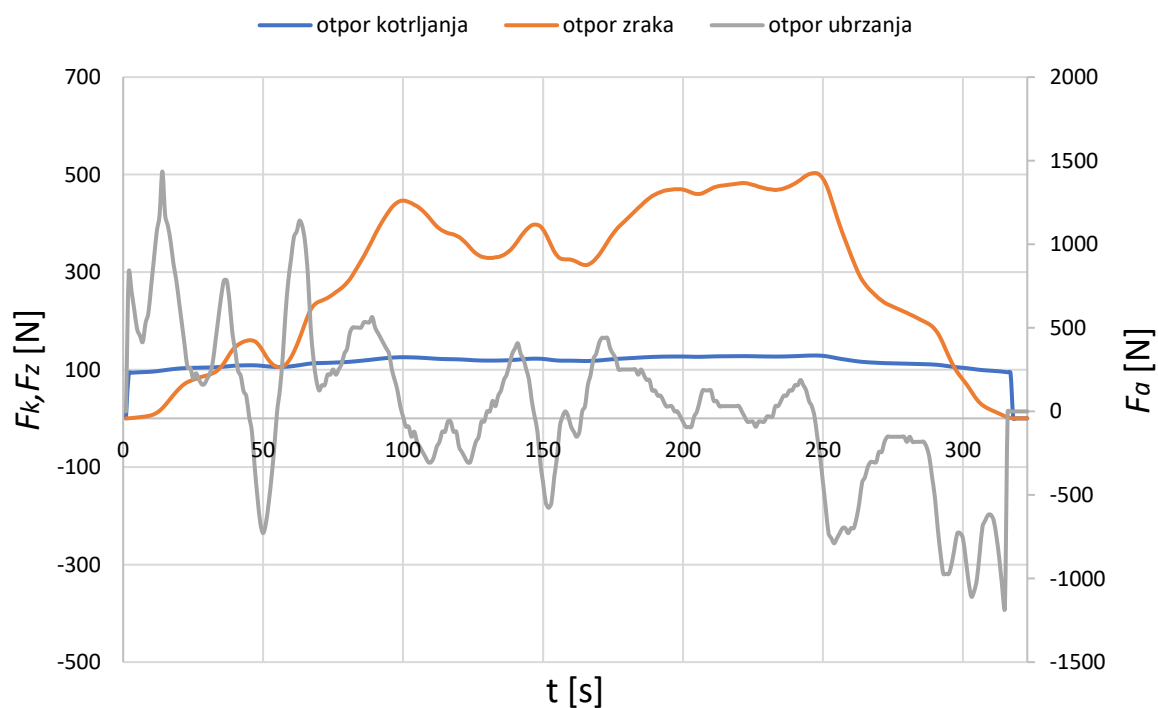
Slika 16. Otpori vožnje u 1. fazi WLTP ispitnog ciklusa



Slika 17. Otpori vožnje u 2. fazi WLTP ispitnog ciklusa

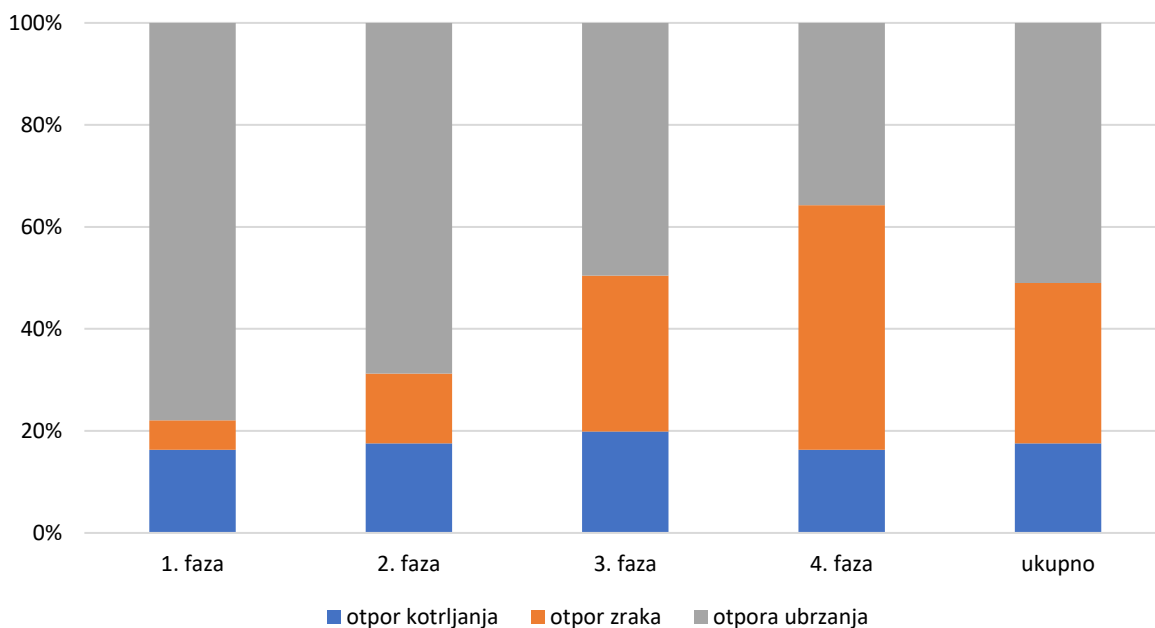


Slika 18. Otpori vožnje u 3. fazi WLTP ispitnog ciklusa

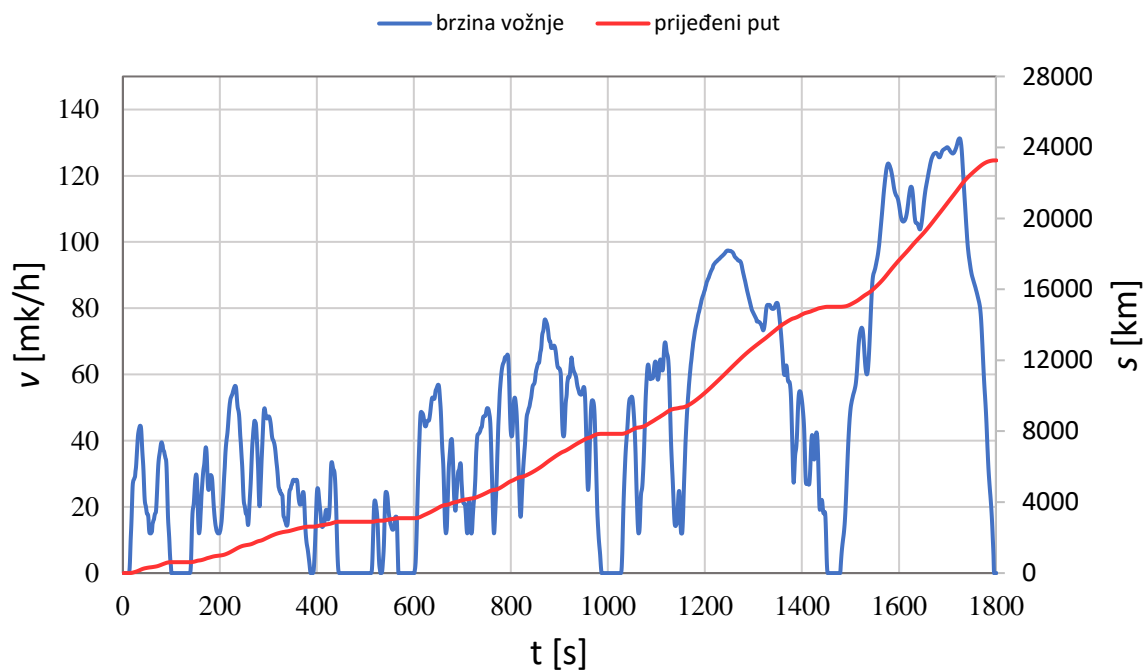


Slika 19. Otpori vožnje u 4. fazi WLTP ispitnog ciklusa

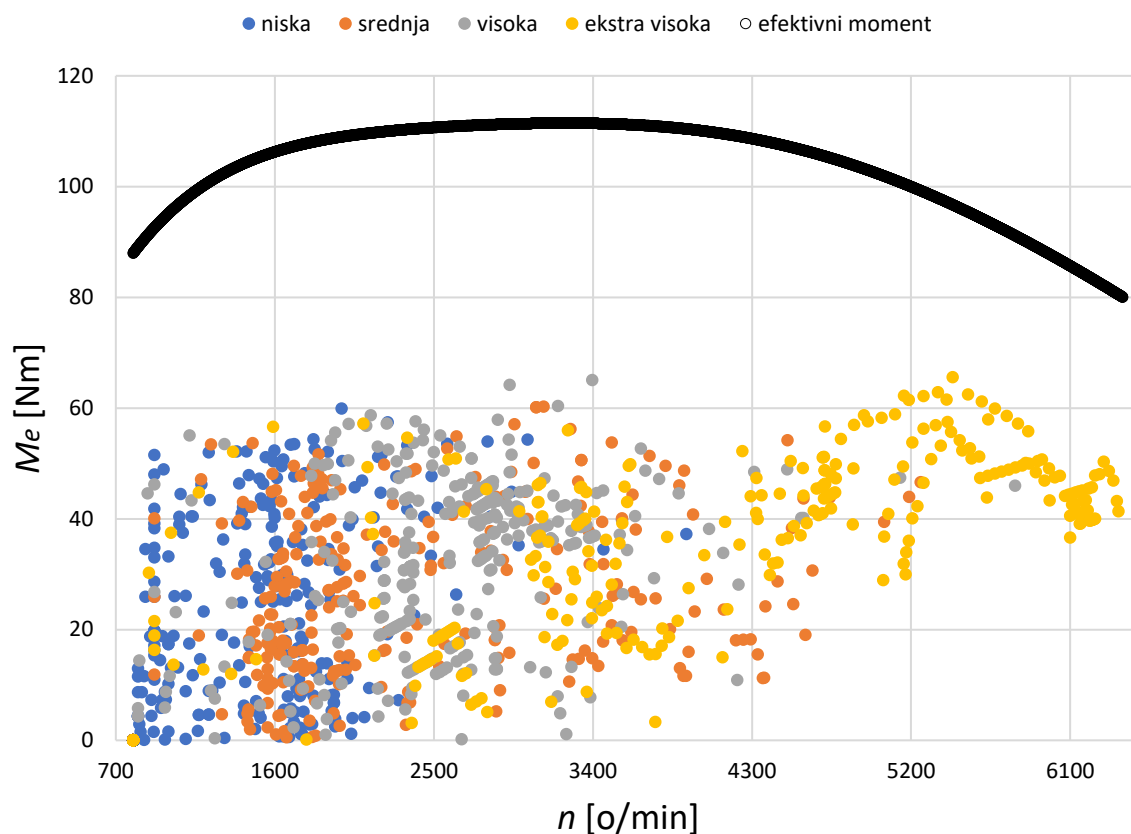
Iz prethodnih rezultata otpora vožnje mogu se primjetiti veće vrijednosti sile otpora kotrljanja nad silom otpora zraka u 1. fazi ispitnog ciklusa zbog manjih brzina vožnje. Razlika tih dvaju otpora vožnje se smanjuje zbog povećavanja brzina vožnje i dovodi do prevladavanja sile otpora zraka nad silom otpora kotrljanja u 4. fazi ispitnog ciklusa.



Slika 20. Kumulativ energija otpora vožnje



Slika 21. Prijeđeni put u WLTP ispitnom ciklusu



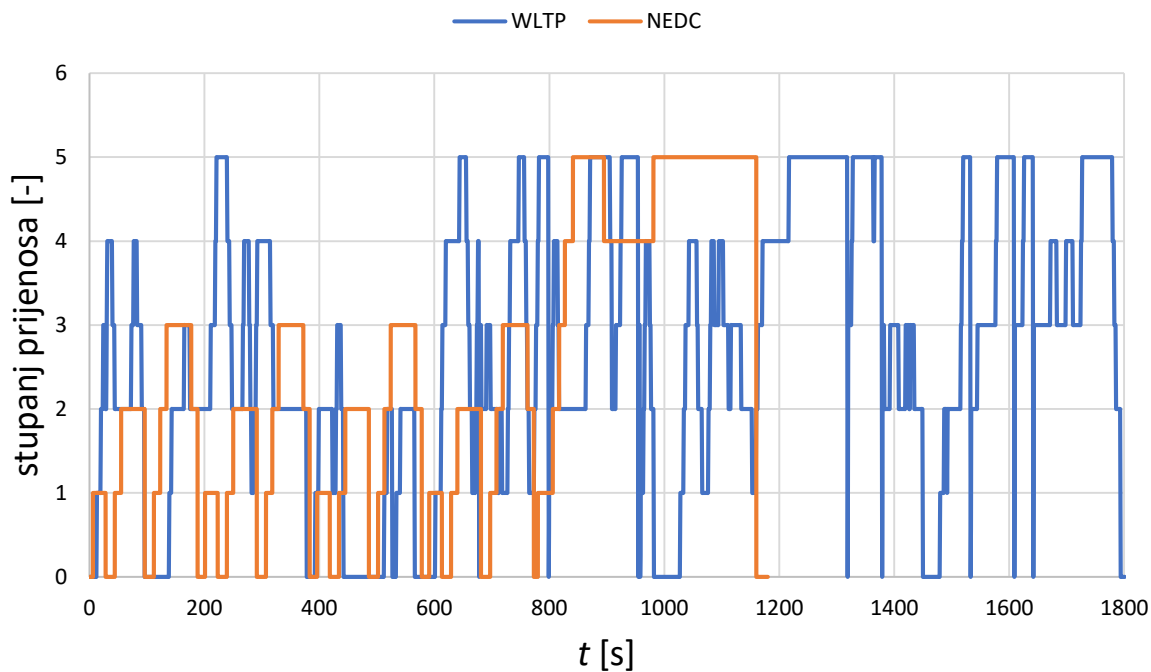
Slika 22. Radne točke WLTP ispitnog ciklusa

Radne točke motora kod WLTP ispitnog ciklusa ne približavaju se krivulji efektivnog momenta motora ali se nalaze u cijelom rasponu brzine vrtnje motora.

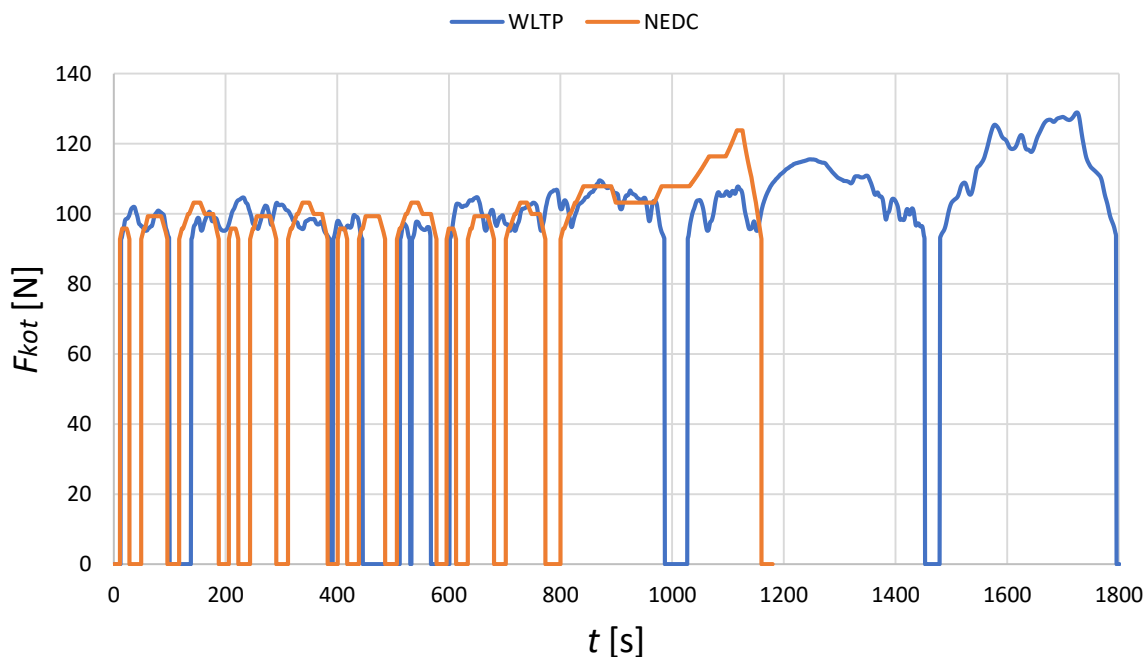
3.2. Rezultati usporedbe WLTP i NEDC ispitnog ciklusa

U ovom potpoglavlju prikazat će se rezultati usporedbe WLTP i NEDC ispitnog ciklusa. Svi rezultati WLTP ispitnog ciklusa bit će prikazani plavom bojom, a NEDC ispitnog ciklusa narančastom bojom.

Rezultati NEDC ispitnog ciklusa su poznati, preuzeti iz zadatka vježbi kolegija Motori i vozila te dodatno analizirani za potrebe ove usporedbe. Rezultati za NEDC ispitni ciklus obrađeni su na jednak način kao i za WLTP ispitni ciklus, dok je osim razlike samih ispitnih ciklusa najznačajnija razlika to što je kod NEDC ispitnog ciklusa u potpunosti definiran stupanj prijenosa za svaku točku ciklusa, za razliku od WLTP ispitnog ciklusa gdje se taj podatak određuje kako je pokazano u poglavlju 2.3.

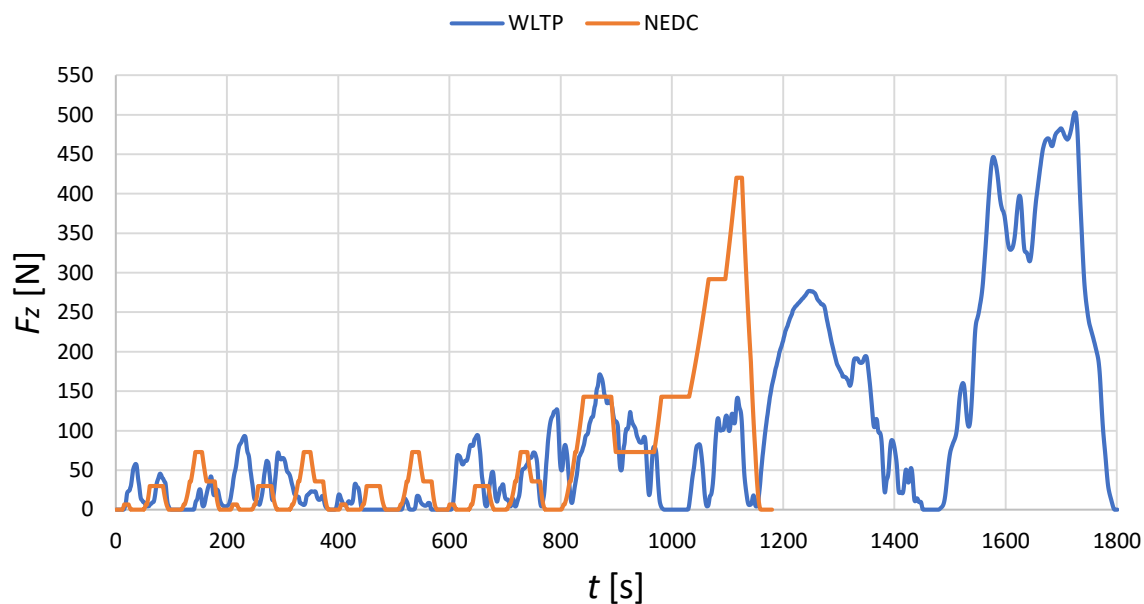


Slika 23. Stupanj prijenosa kod WLTP i NEDC ispitnog ciklusa



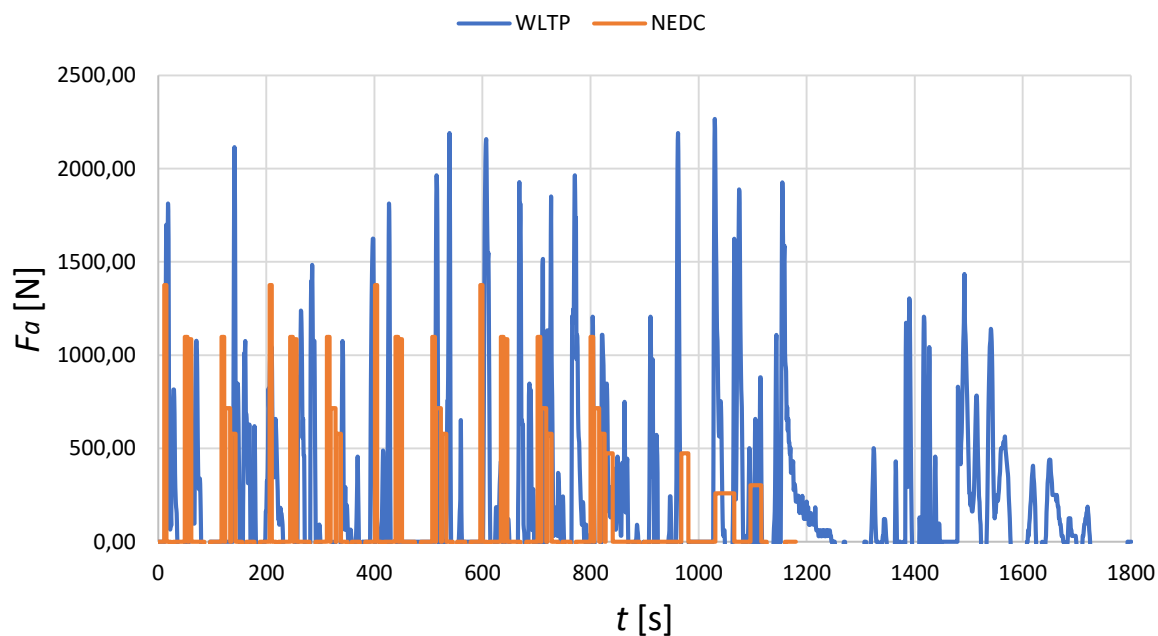
Slika 24. Otpor kotrljanja kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa

Iz slike 23. vidi se isti red vrijednosti veličine sile otpora kotrljanja jer je sila otpora kotrljanja ovisna o brzini vozila v koja je u slučaju WLTP ispitnog ciklusa nešto veća u kasnijoj fazi.



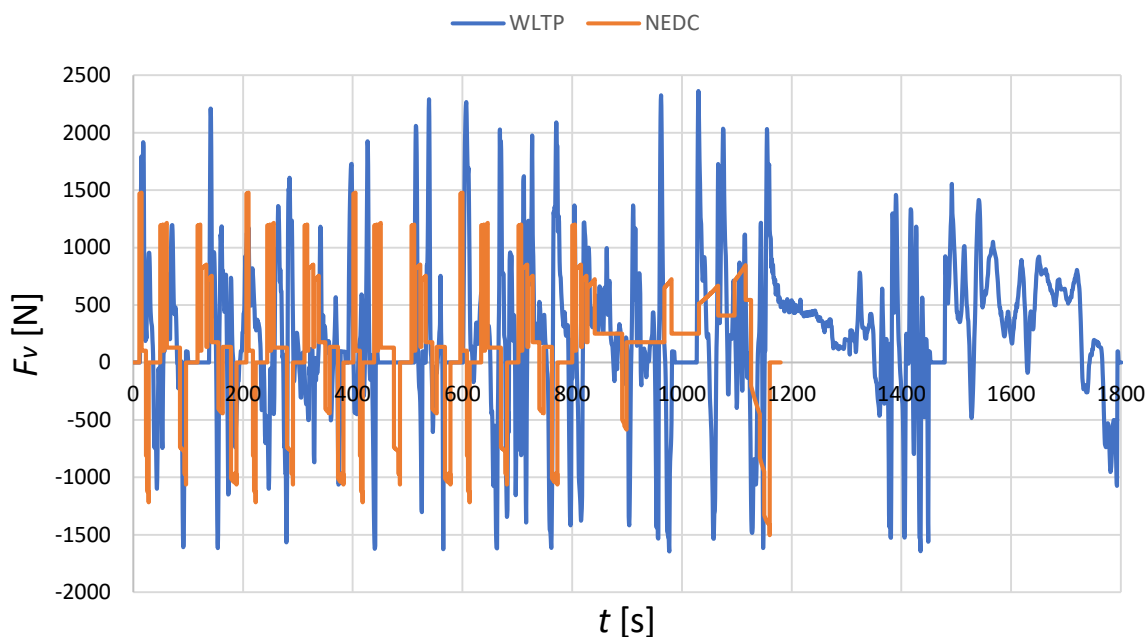
Slika 25. Opor zraaka kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa

Izgled krivulja sile otpora zraaka za WLTP i NEDC ispitni ciklus identična je izgledu krivulja brzine vožnje jer sila otpora zraaka ovisi o kvadratu brzine vožnje (22).



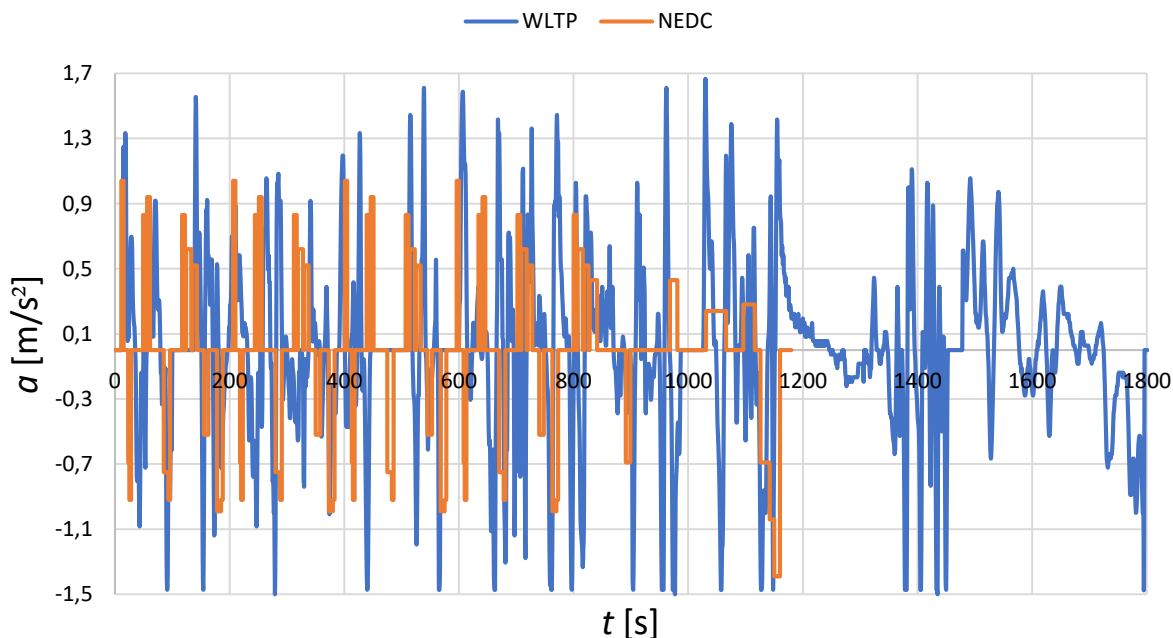
Slika 26. Opor ubrzanja kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa

Iznos sila otpora ubrzanja je znatno veća kod WLTP ispitnog ciklusa kao rezultat većih ubrzanja vozila što je propisano Direktivom [10] i vidljivo na slici 26.



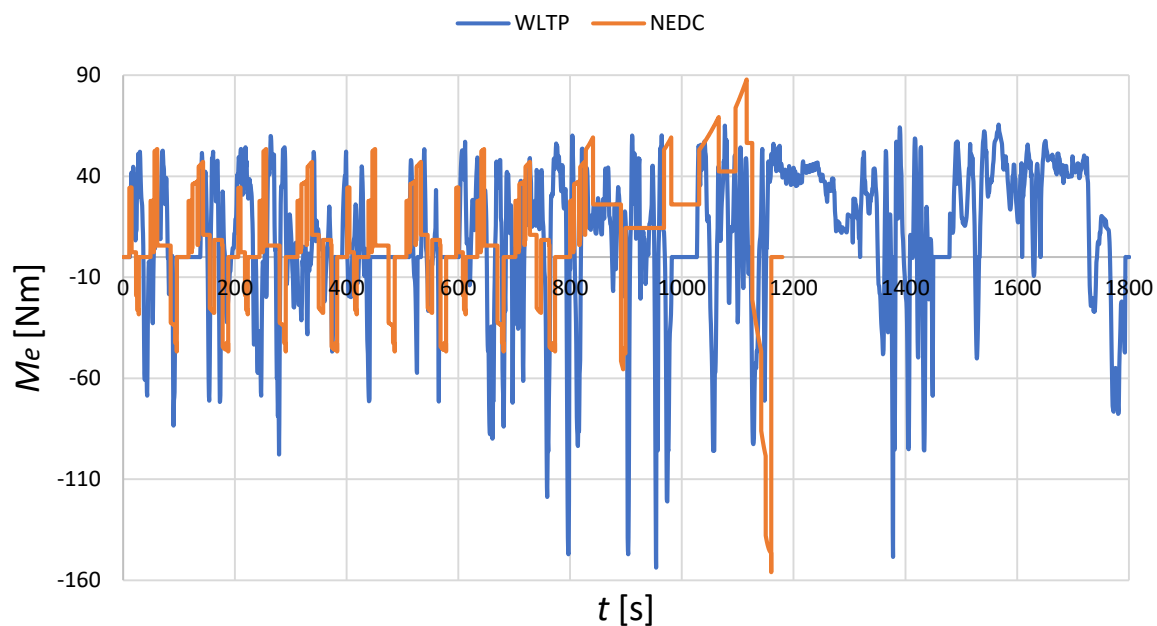
Slika 27. Vučna sile kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa

Vrijednosti vučne sile kod WLTP ispitnog ciklusa je veća zbog većih otpora vožnje kao rezultat većih brzina vožnje i većih ubrzanja vozila.

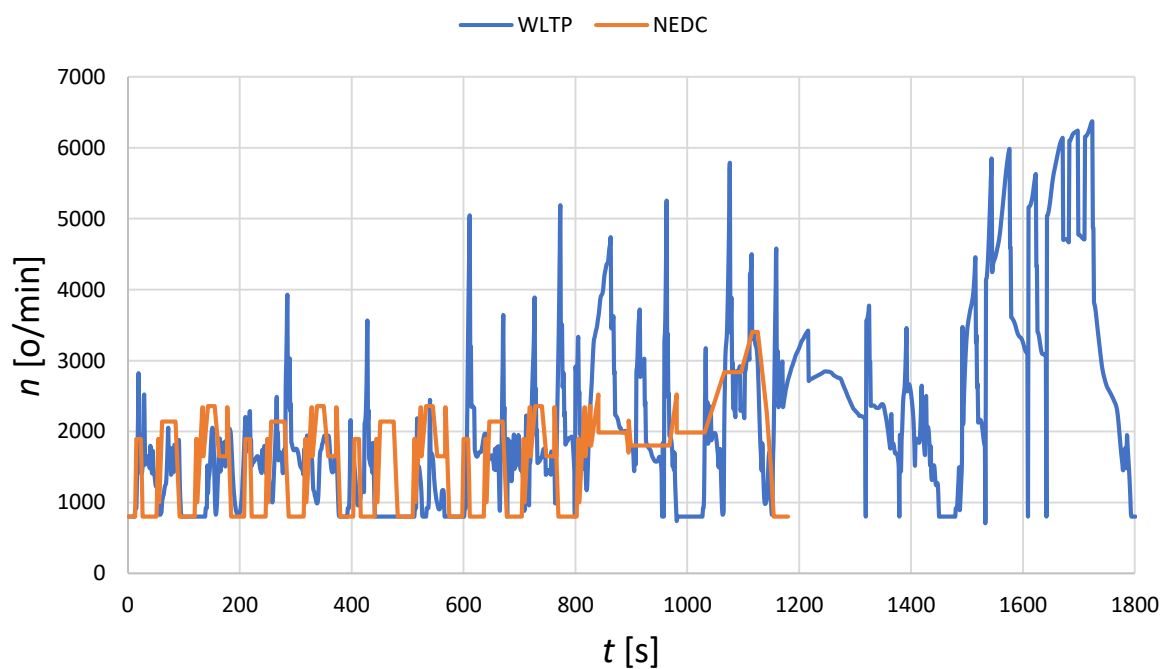


Slika 28. Ubrzanje u ovisnosti o vremenu kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa

Veće vrijednosti ubrzanja vozila kod WLTP ispitnog ciklusa su propisane Direktivom [10].

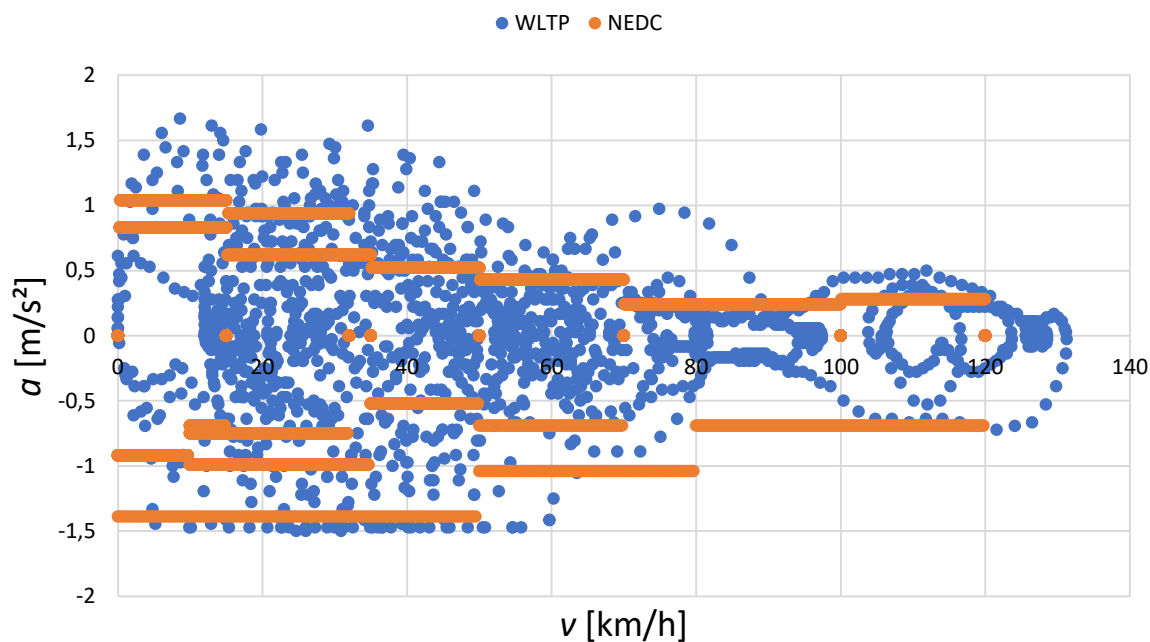


Slika 29. Efektivni moment motora kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa

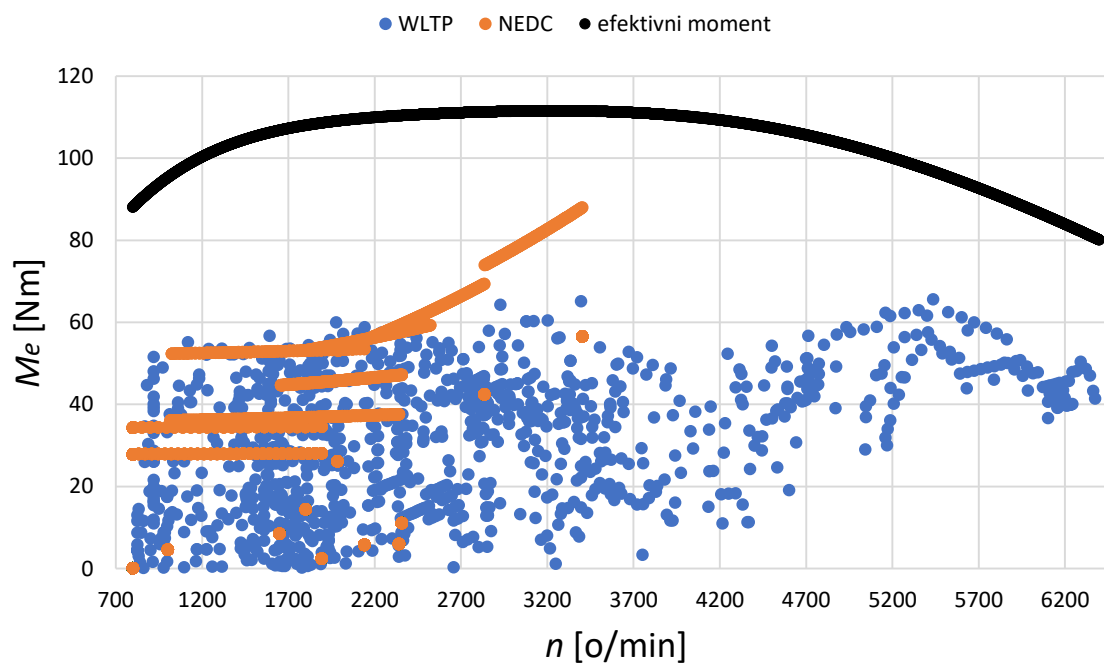


Slika 30. Brzina vrtnje motora kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa

Brzina vrtnje motora kod WLTP ispitnog ciklusa poprima veće vrijednosti zbog većih brzina i dinamičnije vožnje tj. potrebe za većom snagom kako bi se savladala veća ubrzanja.

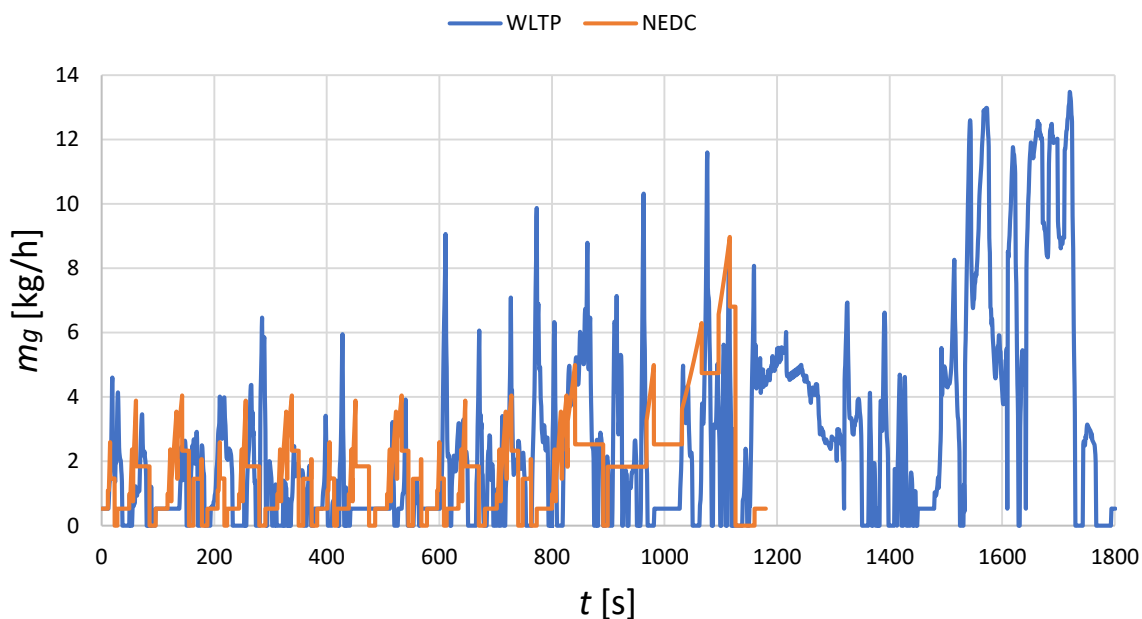


Slika 31. Ubrzanje u ovisnosti o brzini vozila kod WLTP i NEDC ispitnih ciklusa
 Iz slike 31. se vidi veće područje i raspon vrijednosti ubrzanja u ovisnosti o brzini vozila.



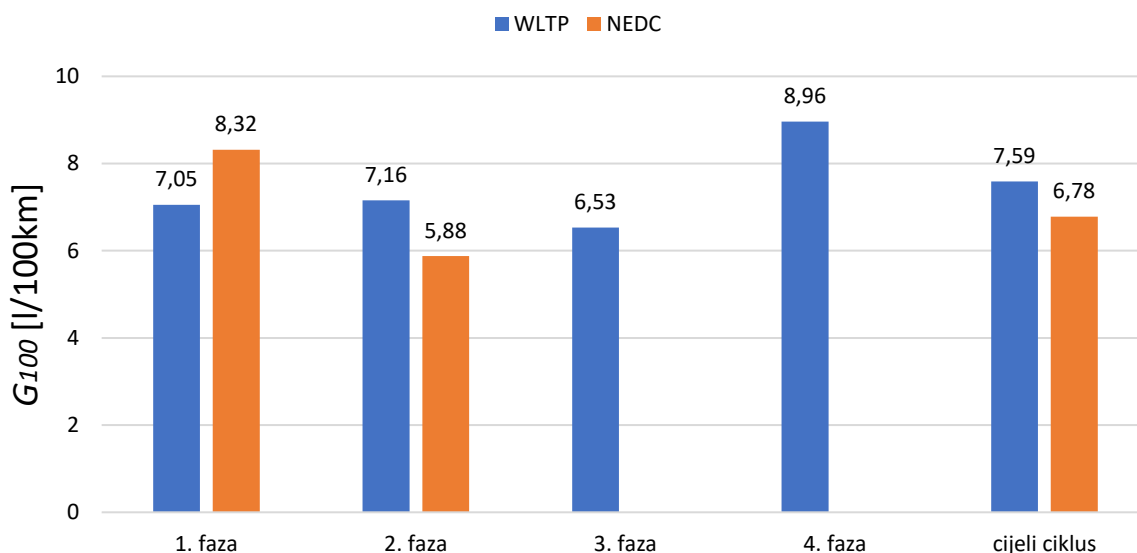
Slika 32. Prikaz radnih točaka WLTP i NEDC ispitnih ciklusa

U WLTP ispitnom ciklusu vidi se znatno veće područje rada motora nego kod NEDC ispitnog ciklusa.



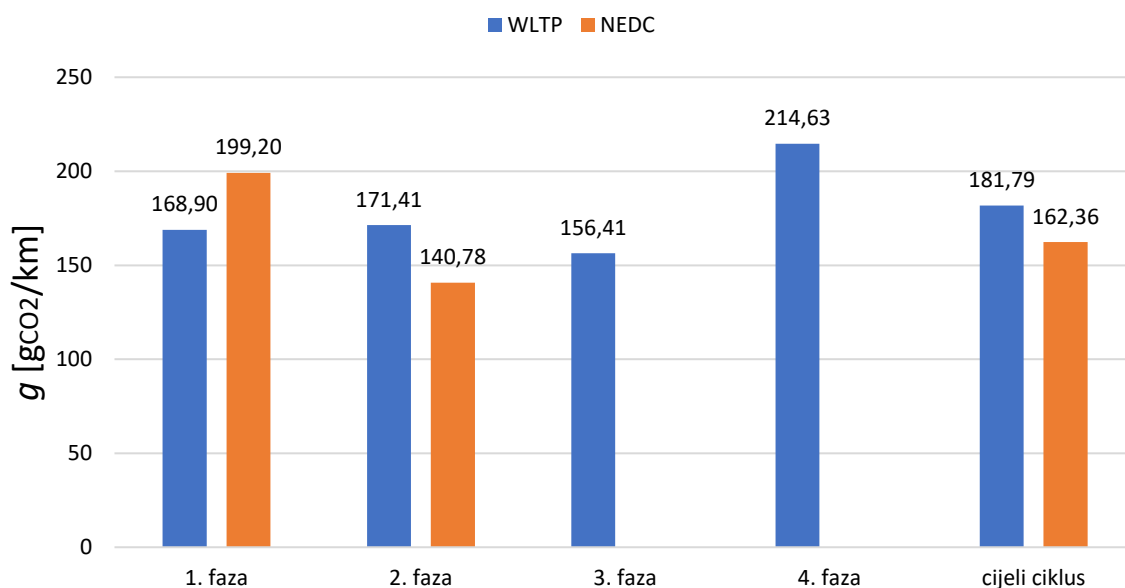
Slika 33. Prikaz rezultata masene potrošnje goriva WLTP i NEDC ispitnih ciklusa

Masena potrošnja goriva kod WLTP ispitnog ciklusa ima veće vrijednosti nego kod NEDC ispitnog ciklusa što je rezultat dinamičnije vožnje i većeg područja rada motora tijekom ciklusa.



Slika 34. Prikaz rezultata potrošnje goriva po fazama WLTP i NEDC ispitnih ciklusa

Potrošnja goriva WLTP ispitnog ciklusa veća je za 12 % u odnosu na potrošnju goriva NEDC ispitnog ciklusa.

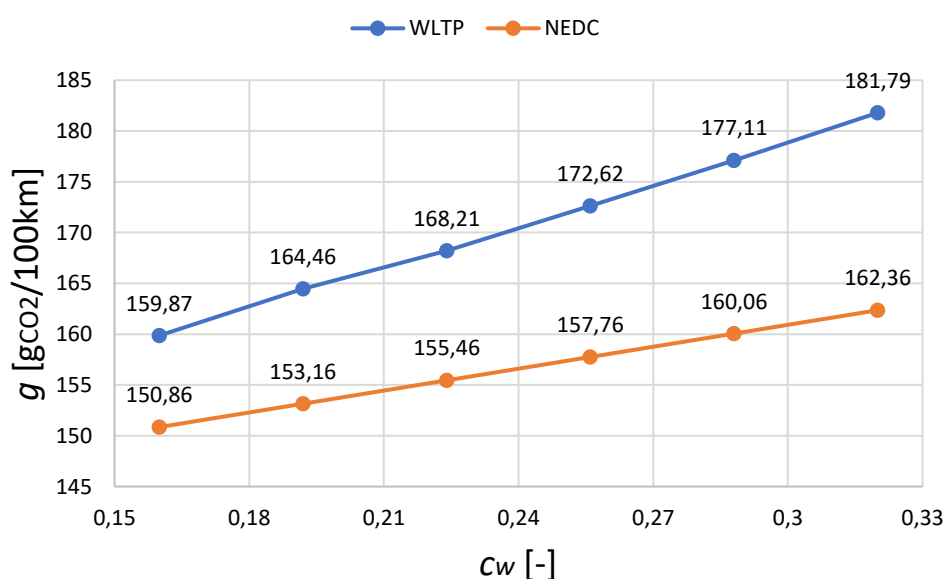


Slika 35. Prikaz rezultata emisije CO₂ po fazama WLTP i NEDC ispitnih ciklusa

Emisija CO₂ WLTP ispitnog ciklusa veća je za 12 % u odnosu na emisiju CO₂ NEDC ispitnog ciklusa.

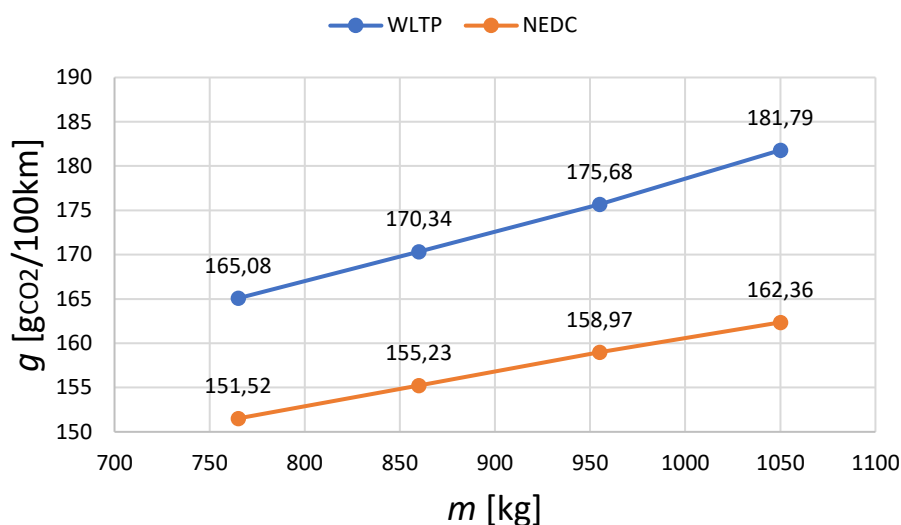
3.3. Utjecaj promjene parametara vozila na emisiju CO₂ kod WLTP i NEDC ispitnog ciklusa

Vrijednosti emisije CO₂ izračunate za 90 %, 80 %, 70 %, 60 % i 50 % vrijednosti faktora otpora zraka c_w , prikazano na slici 36.



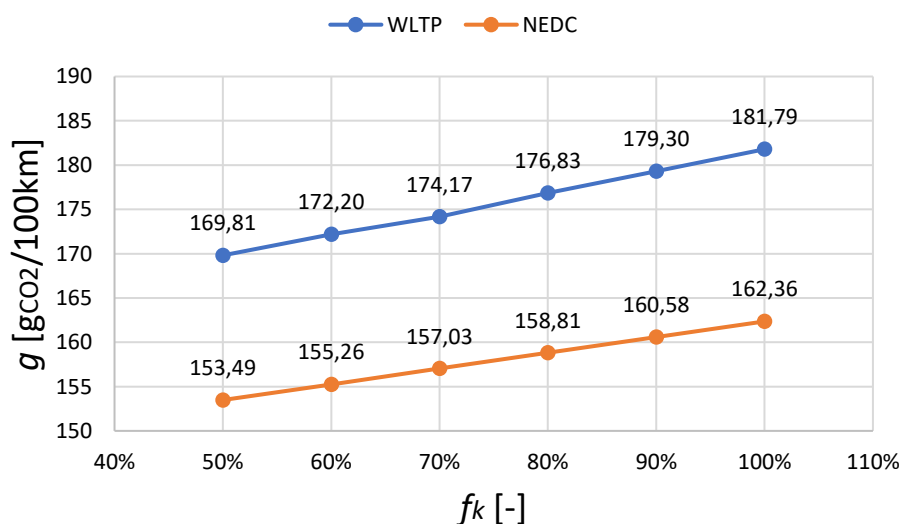
Slika 36. Utjecaj promjene faktora otpora zraka na emisiju CO₂

Vrijednosti emisije CO₂ izračunate za 90 %, 80 % i 70 % mase vozila, prikazano na slici 37.



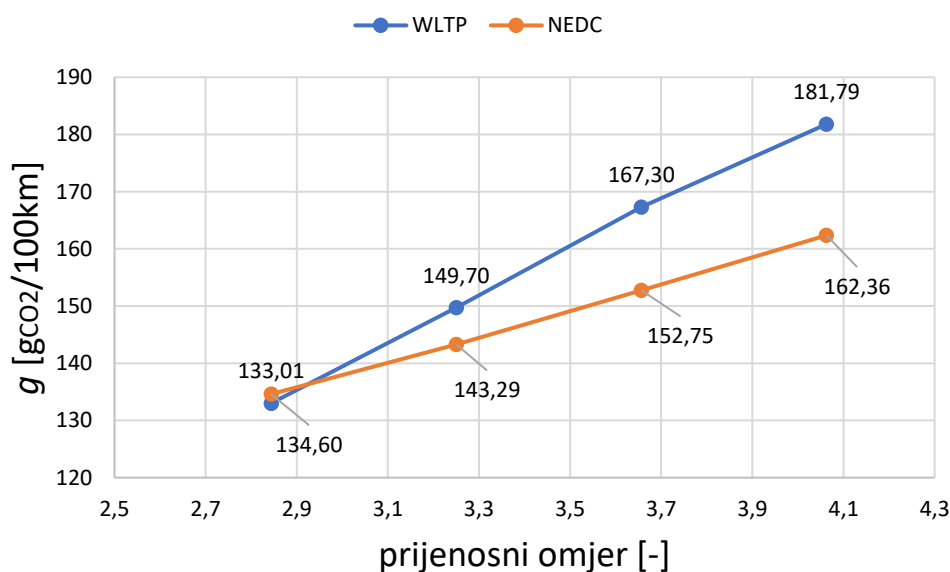
Slika 37. Utjecaj promjene mase vozila na emisiju CO₂

Vrijednosti emisije CO₂ izračunate za 90 %, 80 %, 70 %, 60 % i 50 % vrijednosti faktora otpora kotrljanja f_k , prikazano na slici 38.



Slika 38. Utjecaj promjene faktora otpora kotrljanja na emisiju CO₂

Vrijednosti emisije CO₂ izračunate za 90 %, 80 % i 70 % vrijednosti prijenosnog omjera osovinske redukcije, prikazano na slici 39. Prijenosni omjeri stupnjeva prijenosa za vožnju u naprijed su izvornih vrijednosti tj. nisu mijenjani.

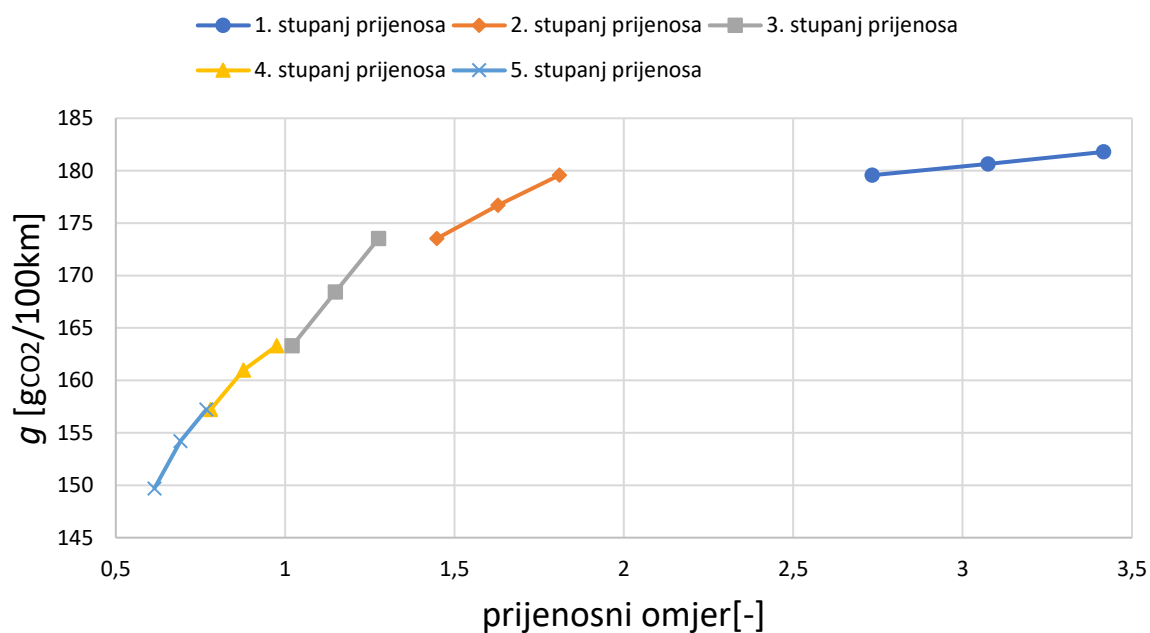


Slika 39. Utjecaj promjene prijenosnog omjera osovinske redukcije na emisiju CO₂

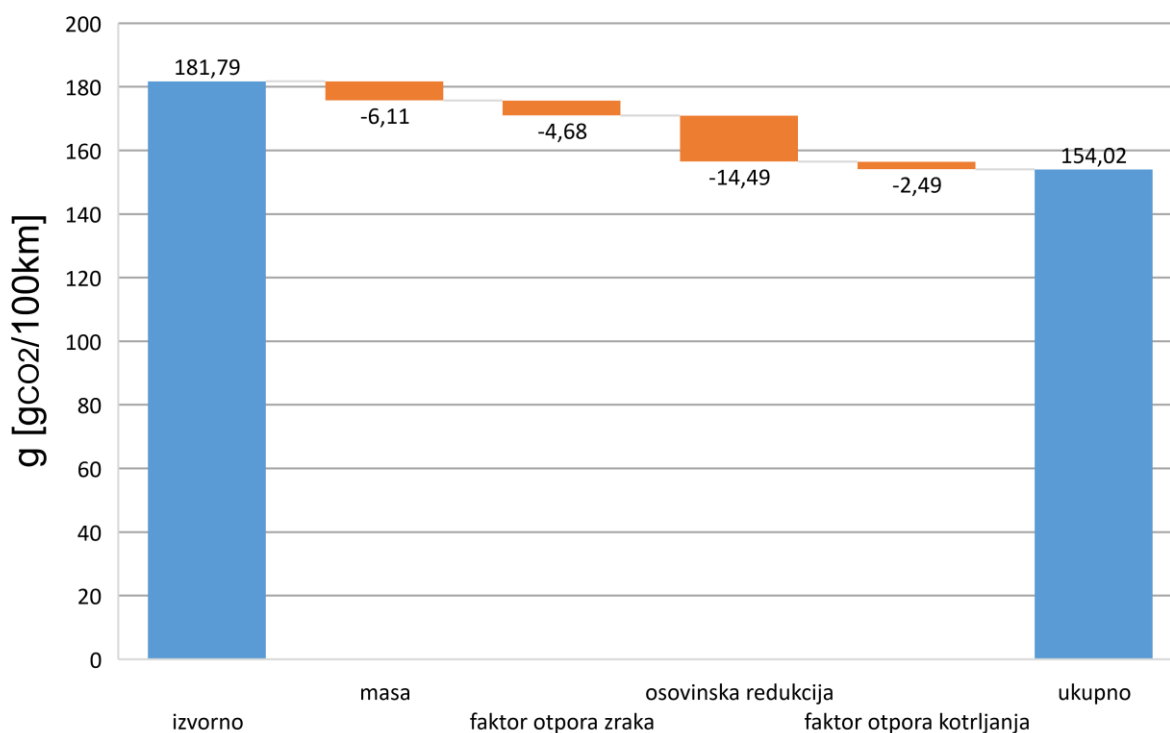
Iz prikazanih rezultata u odlomku 3.3. može se primjetiti približno isti nagib pravca kod promjene vrijednosti parametara faktora otpora kotrljanja i mase vozila, prikazano na slikama 37. i 38. te različit nagib pravca kod promjene parametara otpora zraka i prijenosnog omjera osovinske redukcije, prikazano na slikama 36. i 39. Najveću razliku nagiba pravaca vidi se kod promjene vrijednosti parametra prijenosnog omjera osovinske redukcije, tj. utjecaj promjene prijenosnog omjera osovinske redukcije ima najznačajniji utjecaj na smanjenje emisije CO₂ od svih prikazanih parametara.

Vrijednosti CO₂ izračunate za različite vrijednosti prijenosnih omjera stupnjeva prijenosa za vožnju unaprijed, prikazano na slici 40. Vrijednost prijenosnog omjera osovinske redukcije je izvorna i konstantna za sve slučajeve.

Prvo je izračunata vrijednost emisije CO₂ za 90 % i 80 % vrijednosti prijenosnog omjera 1. stupnja prijenosa sa izvornim vrijednostima prijenosnih omjera preostalih stupnjeva prijenosa. Nakon toga je prijenosni omjer 1. stupnja prijenosa ostavljen na 80 % vrijednosti te je izračunata emisija CO₂ za 90 % i 80 % vrijednosti prijenosnog omjera 2. stupnja prijenosa uz izvorne vrijednosti prijenosnih omjera preostalih stupnjeva prijenosa i tako analogno za svaki stupanj prijenosa.



Slika 40. Utjecaj promjene prijenosnih omjera stupnjeva prijenosa na emisiju CO₂



Slika 41. Kombinirani dijagram

Na slici 41. vidi se utjecaj smanjenja emisije CO₂ ako prikazane veličine postavimo na 90 % izvorne vrijednosti istih.

ZAKLJUČAK

Za odabrano vozilo, prema odredbama uredbe 2017/1151, određen je način prebacivanja stupnja prijenosa u prijenosniku za WLTP ispitni ciklus. Zatim je za oba ispitna ciklusa napravljen proračun otpora vožnje, ubrzanja, potrebnog momenta, potrošnje goriva i emisija. Analizom dobivenih rezultata utvrđeno je da su vrijednosti emisije CO₂ i potrošnje goriva veće kod WLTP ispitnog ciklusa nego kod NEDC ispitnog ciklusa, a sve kao rezultat dinamičnije vožnje koju odlikuju direktivom propisane veće brzine i veća ubrzanja tijekom vremenski dužeg ispitnog ciklusa. Također je analiziran utjecaj značajnih parametara vozila na emisiju CO₂ i utvrđeno je da utjecaj promjene parametara otpora zraka, otpora kotrljanja, mase i prijenosnih omjera imaju veći utjecaj na smanjenje emisije kod WLTP ispitnog ciklusa. Uvođenjem WLTP ispitnog ciklusa pokušavaju se simulirati uvjeti realne vožnje što donosi veće vrijednosti emisije CO₂ što je pokazao i ovaj rad, a za proizvođače osobnih vozila predstavlja dodatan napor kako bi zadovoljili propise koji donošenjem svake nove norme postaju sve stroži i ograničavaju emisiju štetnih ispušnih plinova i krutih čestica.

LITERATURA

- [1] T.J. Barlow, S. Latham, I.S. McCrae, P.G. Boulter: *A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*, 06/2009
- [2] <http://eur-lex.europa.eu>
- [3] <https://www.dieselnet.com>
- [4] wltfacts.eu
- [5] WLTP, TUV SUD Auto Service, 25.06.2014.
- [6] S.Tsiakmakis, G.Fontaras, C.Cubito, J.Pavlovic, K.Anagnostopoulos, B.Ciuffo: *From NEDC to WLTP: effect on the type-approval CO₂ emissions of light-duty vehicles*, 2017
- [7] A. Dimaratos, D. Tsokolis, G. Fontaras, S. Tsiakmakis, B. Ciuffo, Z. Samaras: *Comparative evaluation of the effect of various technologies on light-duty vehicle CO₂ emissions over NEDC and WLTP*, 04/2016
- [8] RTA-Revue technique automobile, 03/2009
- [9] <http://rototest-reasearch.eu>
- [10] Direktiva 2017/1151
- [11] F.V. Carvalheira: *A model for the calculation of car CO₂ emissions and fuel consumption in the new european driving cycle*, 07/2012

PRILOZI

I. CD-R disc